



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ALAT PELACAK ARAH SUARA PADA SISTEM  
PENGUSIR HAMA BURUNG MENGGUNAKAN  
ARM STM32F4**

**Nor Ain Firdaus  
NRP 2211100002**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Rival, ST., MT.  
Rudy Dikaiono, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 41599**

***SOUND SOURCE DIRECTION TRACKING DEVICE  
ON BIRD PESTS REPELLENT SYSTEM USING  
ARM STM32F4***

**NOR AIN FIRDAUS  
NRP 2211 100 002**

**Supervisor**

**Dr. Muhammad Rivai, ST, MT.**

**Rudy Dikairono, ST., MT.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2015**

**ALAT PELACAK ARAH SUARA PADA SISTEM  
PENGUSIR HAMA BURUNG MENGGUNAKAN  
ARM STM32F4**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Elektronika**

**Jurusan Teknik Elektro**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.**

**NIP. 196904261994031003**

**Rudy Dikairono, ST., MT.**

**NIP. 198103252005011002**

**SURABAYA  
JULI, 2015**

## **Alat Pelacak Arah Suara Pada Sistem Pengusir Hama Burung Menggunakan ARM STM32F4**

Nor Ain Firdaus  
2211100002

DosenPembimbing I : Dr. Muhammad Rivai, ST, MT.  
DosenPembimbing II : Rudy Dikairono, ST., MT.

### **ABSTRAK**

Pertanian padi di Indonesia masih menggunakan cara tradisional mulai dari penanaman sampai pengolahan padi menjadi beras. Kondisi hasil padi di Indonesia masih cukup rendah. Salah satu penyebabnya adalah serangan hama burung yang memakan padi. Pada tugas akhir ini telah dirancang suatu alat pelacak suara yang diterapkan pada sistem pengusir hama burung. Alat ini menggunakan mikrofon *stereo* untuk menentukan arah sudut datang suara burung. Mekanisme alat ini adalah menangkap suara hama burung dan mendeteksi sudut datang suara hama burung kemudian sistem pengusir hama burung diarahkan ke arah datangnya suara hama burung. Metode yang digunakan adalah *Interaural level differences* (ILD) untuk menentukan sudut arah datangnya suara burung dan menggunakan *fast fourier transform* (FFT) serta *artificial neural network* (ANN) untuk pengenalan suara burung. Alat ini menggunakan ARM dengan tipe STM32F4 sebagai prosesornya. Hasil pengujian didapatkan bahwa dengan jarak antarmikrofon stereo sejauh 21 cm dapat mendeteksi sumber suara burung dengan baik sampai 1m dengan rincian jarak 10cm menghasilkan rata-rata eror sudut sebesar 19,2°, jarak 30cm menghasilkan rata-rata eror sudut sebesar 26,3°, jarak 60cm menghasilkan rata-rata eror sudut sebesar 24,2°, dan jarak 100cm menghasilkan rata-rata eror sudut sebesar 39,3°. Dengan pengembangan teknologi alat pelacak suara pada sistem pengusiran hama ini diharapkan dapat meningkatkan produktivitas padi Indonesia.

**Kata kunci:** Hama burung , *Interaural level differences*, Mikrofon *stereo*, STM32F4



## ***Sound Source Direction Tracking Device On Bird Pests Repellent System Using Arm Stm32f4***

Nor Ain Firdaus  
2211100002

Supervisor I : Dr. Muhammad Rivai, ST, MT.  
Supervisor II : Rudy Dikairono, ST., MT.

### **ABSTRACT**

*Rice farming in Indonesia is still using traditional way from planting untill rice processing. Rice yields in Indonesia is still quite low. One reason is the bird pests that eat rice. In this final project has designed a sound tracking device is applied to the bird pests repellent system. This tool uses a stereo microphones to determine the direction of the angle of the bird sounds. The mechanism of this tool is to capture the sound of bird pests and to detect the angle of bird pests sound then directed to the direction of the bird pests sound. The method used is Interaural level differences (ILD) to determine the angle and direction of the bird sounds and a fast Fourier transform (FFT) and artificial neural network (ANN) for voice recognition birds. This tool uses an ARM with type STM32F4 as a processor. The test results showed that the stereo microphone distance as far as 21 cm can detect the source of the bird sounds well untill 1m: distance 10cm produces an average error angle 19,2°, distance 30cm produces an average error angle 26,3°, distance 60cm produces an average error angle 24,2°, and distance 100cm produces an average error angle 39,3°. With the development of sound source direction tracking device on bird pests repellent system using ARM STM32F4 is expected to increase rice productivity in Indonesia.*

**Keyword:** *Bird pests , Interaural level differences (ILD) , Stereo microphone, STM32F4*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Allah SWT. atas segala rahmat, nikmat, berkah, dan hidayah-Nya yang tak terkira kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

### **Alat Pelacak Arah Suara Pada Sistem Pengusir Hama Burung Menggunakan ARM STM32F4**

Tujuan utama tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan pada Bidang Studi Elektronika Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Aba dan Ibu yang paling berjasa yang telah memberi dukungan moril, nasehat, semangat, doa, dan materil. Semoga rahmat Allah selalu tercurahkan untuk Aba Ibu.
2. Bapak Muhammad Rivai dan Bapak Rudi Dikairono selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi bimbingan, kejelasan, nasehat, dan kemudahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Tri Arief Sardjono selaku Ketua jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Hidayatul Khusna, S.Si yang membantu dan memberi semangat penulis dalam mengerjakan tugas akhir. Motivasi membuat penulis semakin giat.
6. Keluarga besar elektronika beserta teman-teman elektronika yang memberikan suasana cair dengan canda tawanya dan *support* yang sangat besar sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Keluarga besar Elvn/E51 yang sejak maba sampai kelulusan terus bersama dalam kekompakan.

8. Keluarga besar pondok pesantren Darussalam dan UKM Cinta Rebana ITS yang setiap hari selalu menjadi keluarga di kota perantauan ini.
9. Kru MTC *Electrical Art*: Helmi Maulana(ketua), Rifyal Rahmat, Wahyudi Wicaksono yang merupakan kelompok wirausaha muda berprestasi.
10. Reza Zhafiri dan Agung Nurseha yang membantu memberi masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap para pembaca Tugas Akhir ini bersedia memberikan kritik, saran, dan masukan agar selanjutnya menambah manfaat Tugas Akhir. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat dijadikan referensi bagi Tugas Akhir selanjutnya.

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I</b>	
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	4
<b>BAB II</b>	
<b>DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Sound Localization .....	5
2.2 Burung Pipit ( <i>Lonchura punctulata</i> ) .....	7
2.3 Mikrokontroler STM32F4 .....	8
2.4 Mikrofon.....	12
2.5 Pre Amplifier.....	13
2.6 <i>Fast Fourier Transformation</i> (FFT) .....	13
2.7 Jaringan Saraf Tiruan (JST).....	15
2.8 Amplifier .....	16
2.9 <i>Loudspeaker</i> .....	17
2.10 Motor Servo.....	19
<b>BAB III</b>	
<b>PERANCANGAN SISTEM</b> .....	<b>21</b>
3.1 Blok Diagram Sistem.....	23
3.2 Perancangan Kelistrikan Alat Pelacak Suara pada Sistem Pengusir Hama Burung.....	24
3.3 Rangkaian Mikrofon Stereo.....	25
3.4 Mikrokontroler ARM STM32F4 .....	27
3.5 <i>Perancangan Software pada Sistem</i> .....	28

3.6	<i>Servo Kontroler</i> .....	30
3.7	Perancangan Lapangan .....	31
<b>BAB IV</b>		
<b>PENGUKURAN DAN ANALISA</b> .....		<b>33</b>
4.1	Pengujian Perangkat Keras .....	34
4.1.1.	Pengujian Panel Surya .....	34
4.1.2.	Pengujian <i>Pre-amplifier</i> Mikrofon .....	37
4.1.3.	Pengujian Motor Servo.....	39
4.2	Pengujian Perangkat Lunak .....	40
4.2.1	Pengujian ADC.....	40
4.2.2	Pengujian Fast Fourier Transformation (FFT).....	41
4.3	Pengujian Pendeteksian Sudut .....	44
<b>BAB V</b>		
<b>PENUTUP</b> .....		<b>63</b>
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>65</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>67</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kanal ADC pada STM32F4.....	10
<b>Tabel 2.2</b> Macam-macam Timer, resolusi, dan clock Timer STM32F4.....	11
<b>Tabel 2.3</b> Kanal DAC pada STM32F4.....	12
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya panel surya	35
<b>Tabel 4.2</b> Lebar pulsa pengontrol putaran servo 360 <sup>o</sup> .....	39
<b>Tabel 4.3</b> Tabel pengukuran sinyal analog menggunakan ADC STM32F4.....	40
<b>Tabel 4.4</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 10 cm.....	44
<b>Tabel 4.5</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 30 cm.....	45
<b>Tabel 4.6</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 60 cm.....	46
<b>Tabel 4.7</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 100 cm.....	47
<b>Tabel 4.8</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 120 cm.....	48
<b>Tabel 4.9</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 150 cm.....	49
<b>Tabel 4.10</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 10 cm.....	50
<b>Tabel 4.11</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 30 cm.....	51
<b>Tabel 4.12</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 60 cm.....	52
<b>Tabel 4.13</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 100 cm.....	53
<b>Tabel 4.14</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 120 cm.....	54
<b>Tabel 4.15</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 150 cm.....	55
<b>Tabel 4.16</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 10 cm.....	56



<b>Tabel 4.17</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 30 cm.....	57
<b>Tabel 4.18</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 60 cm.....	58
<b>Tabel 4.19</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 100 cm.....	59
<b>Tabel 4.20</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 120 cm.....	60
<b>Tabel 4.21</b> Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 150 cm.....	61

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Ilustrasi <i>stereo microphone</i> dalam menentukan DOA	5
<b>Gambar 2.2</b> Burung pipit.....	8
<b>Gambar 2.3</b> <i>Board Stm32f4-Discovery</i> .....	9
<b>Gambar 2.4</b> Algoritma <i>butterfly</i> FFT .....	14
<b>Gambar 2. 5</b> Grafik hasil proses FFT .....	15
<b>Gambar 2. 6</b> Pemodelan jaringan saraf tiruan .....	15
<b>Gambar 2.7</b> Bagian-bagian <i>loudspeaker</i> .....	18
<b>Gambar 2. 8</b> Motor servo standar 180° .....	19
<b>Gambar 2. 9</b> Pensinyalan kontrol servo .....	20
<b>Gambar 3.1</b> Sketsa alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung .....	21
<b>Gambar 3.2</b> Diagram blok alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung .....	23
<b>Gambar 3.3</b> Rangkaian catu daya 5 volt .....	25
<b>Gambar 3.4</b> Rangkaian pre-amp mikrofon kondensor .....	26
<b>Gambar 3.5</b> Mikrokontroler STM32F4.....	28
<b>Gambar 3.6</b> Desain ANN/JST alat pelacak suara burung .....	30
<b>Gambar 3.7</b> Letak pemasangan sistem di sawah.....	31
<b>Gambar 4.1</b> (a)Panel surya, (b) Alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung,(c) dan aktuator servo .....	33
<b>Gambar 4.2</b> Panel surya .....	35
<b>Gambar 4.3</b> Mikrofon kondensor .....	37
<b>Gambar 4.4</b> Skema rangkain pre amp mikrofon kondensor.....	38
<b>Gambar 4. 5</b> Simulasi gelombang <i>input</i> pada rangkaian <i>pre-amp</i>	38
<b>Gambar 4.6</b> Simulasi gelombang <i>output</i> pada rangkaian <i>pre-amp</i>	39
<b>Gambar 4.7</b> Hasil pengujian FFT suara burung pipit menggunakan <i>software</i> .....	41
<b>Gambar 4.8</b> Hasil pengujian FFT suara burung pipit menggunakan mikrokontroler STM32F4.....	42
<b>Gambar 4.9</b> Hasil FFT Suara mesin diesel.....	42
<b>Gambar 4.10</b> Hasil FFT suara kincir pengusir burung pipit.....	43
<b>Gambar 4.11</b> Hasil FFT suara pengusir burung pipit elektrik .....	43

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara agraris dengan tingkat kesuburan tanah yang tinggi. Hal ini memungkinkan Indonesia dapat memenuhi kebutuhan pangan masyarakat Indonesia secara mandiri. Beras sebagai makanan pokok sebagian besar penduduk Indonesia. Namun, beras di Indonesia masih belum dapat terpenuhi secara sempurna. Salah satu penyebabnya adalah tingkat produksi padi di Indonesia yang tergolong rendah. Pada bulan April 2014, BPS mencatat bahwa impor beras pada bulan tersebut merupakan yang terbanyak yang diimpor dari India sebanyak 13.445 Ton (US\$4,9 Juta), Thailand sebanyak 11.450 Ton (US\$4,8 Juta), Pakistan sebanyak 3500 Ton (US\$1,3 Juta), dan akumulasi negara-negara lainnya sebanyak 2250 Ton (US\$711 Ribu)<sup>[1]</sup>.

Rendahnya produktivitas padi di Indonesia disebabkan oleh banyak faktor. Salah satu faktor penyebab produksi padi di Indonesia tergolong rendah adalah adanya serangan hama burung. Tentu saja hal ini dapat menurunkan produksi padi secara signifikan.

Pengusiran hama burung di Indonesia pada umumnya masih menggunakan cara tradisional. Orang-orangan sawah merupakan salah satu cara tradisional yang banyak digunakan petani untuk mengusir hama burung dengan ditarik dari kejauhan sehingga orang-orangan sawah berkesan hidup dan menakuti hama burung. Cara ini kurang efisien karena petani harus terus memantau di sekitar area persawahan. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknologi yang dapat mengusir hama burung secara efisien.

Penelitian ini dirancang untuk mengembangkan suatu sistem yang dapat mendeteksi keberadaan hama burung untuk kemudian mengarahkan sistem pengusir hama burung ke arah sumber suara burung. Keberadaan hama burung dapat dideteksi melalui arah dan jarak sumber suara burung yang menggunakan mikrofon *stereo*. Adapun arah datangnya suara burung dapat ditentukan menggunakan metode *Interaural level differences* (ILD).

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan sudut arah datangnya sumber suara hama burung.
2. Implementasi alat pelacak suara hama burung menggunakan STM32F4.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Mengarahkan *loudspeaker* ke sudut arah datang sumber suara hama burung.
- 2 Mengimplementasikan alat pelacak suara hama burung menggunakan prosesor STM32F4.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mikrofon yang digunakan adalah tipe kondensor.
2. Hama burung dari jenis burung pipit.
3. Penentuan sudut arah sumber suara maksimal 180°.

## **1.5 Metodologi Penelitian**

Penelitian ini diselesaikan menggunakan metodologi sebagai berikut:

### **a. Studi Literatur**

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang menunjang dalam penulisan Tugas Akhir. Dasar teori dapat diambil dari buku, jurnal, serta artikel ilmiah dan forum diskusi internet.

### **b. Perancangan Perangkat Keras**

Perancangan perangkat keras ini meliputi perancangan mekanik dan tata letak mikrofon *stereo* yang digunakan untuk mendeteksi sudut datang suara burung.

### **c. Perancangan Perangkat lunak**

Perancangan perangkat lunak digunakan untuk pengolahan sinyal suara burung dan penentuan sudut datang suara burung. Perangkat lunak menggunakan bahasa C.

d. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui hubungan antara keakuratan dan kepresisian dalam menentukan arah datang suara burung dengan peletakan jarak antarmikrofon. Pengujian pertama adalah menganalisa spektrum suara burung yang kemudian ditransformasikan ke T-F untuk mendapatkan domain frekuensi. Setelah mendapatkan domain frekuensi akan didapatkan frekuensi dominan dari suara burung. Jika frekuensi dominan dari suara burung terdeteksi, akan dilakukan pengetesan amplitudonya menggunakan teknik ILD hanya pada frekuensi dominan burung. Selain itu, akan dilakukan pengestimasi jarak sumber suara burung ke sistem sehingga sistem dapat mengeluarkan suara dengan frekuensi yang dapat mengusir burung dengan amplitudo yang disesuaikan dengan jarak sumber suara ke sistem.

e. Pengolahan data

Melakukan analisa data dari hasil eksperimen, sehingga dapat dipilih solusi yang terbaik untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi.

f. Penulisan laporan Tugas Akhir

Tahap penulisan laporan Tugas Akhir dilakukan pada saat tahap pengujian sistem dimulai serta setelahnya.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan tugas akhir ini terdiri dari Lima Bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

### **Bab 1 :PENDAHULUAN**

Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

### **Bab 2 :DASAR TEORI**

Bab ini menjelaskan tentang dasar-dasar teori yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir ini, yang meliputi teori dasar *Sound Localization*, Burung Pipit (*Lonchura punctulata*), Mikrokontroler



ARM STM32F4, Mikrofon, *Pre Amplifier*, *Fast Fourier Transformation* (FFT), Jaringan Saraf Tiruan (JST), *Amplifier*, *Loudspeaker*, dan Motor Servo.

### Bab 3: PERANCANGAN SISTEM

Bab ini menjelaskan tentang perencanaan perangkat keras serta perangkat lunak alat pelacak suara burung pada pengusir hama burung. Bab ini juga menjelaskan tentang prosedur pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

### Bab 4 :PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN SISTEM

Bab ini menjelaskan tentang hasil yang didapat dari pengujian sistem secara keseluruhan.

### Bab 5 : PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan meliputi kekurangan-kekurangan pada kerja alat dari hasil analisa serta saran untuk pengembangan ke depan.

## 1.7 Relevansi

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Mempermudah petani untuk mengusir hama burung di area persawahan secara efisien.
2. Meminimalisasi kerugian produksi padi akibat serangan hama burung.

## BAB II

### DASAR TEORI

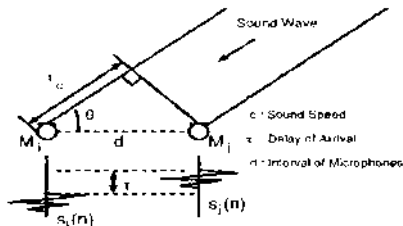
Suatu penelitian senantiasa tak lepas dari penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, pada bagian ini diuraikan dasar teori yang melandasi penelitian meliputi *sound localization*, burung pipit, mikrokontroler STM32F4, mikrofon, *pre amplifier*, *amplifier*, *loadspeaker*, serta servo. Selain itu, diuraikan pula metode pengestimasi jarak sumber suara, *Fast Fourier Transformation* (FFT), Jaringan saraf tiruan, serta karakteristik burung pipit yang digunakan sebagai objek penelitian.

#### 2.1 Sound Localization

Telinga manusia menentukan arah datangnya suara (atas, depan, kanan, kiri, depan, dan belakang) menggunakan analisa interferensi hasil suara yang ditangkap oleh dua telinga. Berdasarkan frekuensi suara, analisa tersebut dibagi menjadi dua yakni sebagai berikut:

##### *Interaural time differences (ITD)*

Teknik ITD ini menggunakan perbedaan waktu tempuh suara yang ditangkap oleh telinga kanan dan telinga kiri. Sistem pendengaran menganalisa teknik ITD dari perbedaan fasa pada frekuensi rendah dan sekumpulan waktu tunda pada frekuensi tinggi.



**Gambar 2. 1** Ilustrasi *stereo microphone* dalam menentukan DOA<sup>[2]</sup>

Gambar 2.1 merupakan ilustrasi pemanfaatan ITD untuk menentukan arah sumber suara.  $\tau$  dapat diperoleh dari rumus  $\tau = \frac{d \sin \theta}{v}$ . Sinyal diubah ke T-F domain menggunakan transformasi fourier,  $X1, \kappa(\omega) = S\kappa(\omega) + N1, \kappa(\omega)$  dan  $X2, \kappa(\omega) = S\kappa(\omega)e^{-j\omega\tau} + N2, \kappa(\omega)$ .

Untuk mencari ITD umumnya digunakan *cross correlation*. *Cross correlation* antara sinyal  $X_i$  dan  $X_j$  dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_{ij}(\tau) = \sum_{n=0}^{N-1} X_i(n)X_j(n - \tau) \quad (2.1)$$

Dimana  $X_i$  adalah sinyal yang diterima oleh mikrofon i (sebagai sinyal referensi) dan  $X_j$  adalah sinyal yang diterima oleh mikrofon j.  $\tau$  adalah parameter geser ( $\tau = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )<sup>[3]</sup>.

### ***Interaural Level Difference (ILD)***

Penggunaan teknik ILD ini lebih tepat digunakan pada frekuensi tinggi. Hal ini disebabkan perbedaan jarak telinga kanan dan kiri pada frekuensi tinggi menyebabkan perbedaan level amplitudo suara yang signifikan. Suara dengan frekuensi di bawah 800 Hz lebih tepat menggunakan teknik ITD dengan menganalisa perbedaan fasa. Frekuensi suara di atas 1600 Hz lebih tepat menggunakan teknik ILD dengan menganalisa perbedaan level amplitudo suara. Sedangkan frekuensi dalam rentang 800 Hz - 1600 Hz dapat menggunakan kedua teknik tersebut.

Alasan menggunakan teknik ITD pada frekuensi di bawah 800 Hz dikarenakan jarak antara telinga kanan dan kiri (21 cm) lebih pendek daripada setengah panjang gelombang suara. Jadi, sistem pendengaran dapat membedakan perbedaan fasa antara suara yang ditangkap oleh telinga kanan dan kiri dengan mudah.

Frekuensi di atas 1600 Hz menggunakan teknik ILD dikarenakan jarak telinga kanan dan kiri lebih panjang daripada setengah gelombang suara. Hal ini mengakibatkan telinga kesulitan dalam menentukan perbedaan waktu beda fasa. Frekuensi tinggi lebih memungkinkan menggunakan perbedaan level amplitudo

dikarenakan penambahan jarak tempuh pada frekuensi suara menyebabkan level amplitudo turun secara signifikan.

ILD antara kanan dan kiri dapat dirumuskan  $ILD = 20 \log_{10} (gain_1/gain_2)$ . Supaya daya yang dihasilkan oleh mikrofon *stereo* mendekati daya sinyal aslinya, maka  $gain_1$  dan  $gain_2$  harus memenuhi persamaan  $gain_1^2 + gain_2^2 = 1_{[4]}$ .

## 2.2 Burung Pipit (*Lonchura punctulata*)

Pada penelitian ini, objek penelitian yang dicobakan pada alat pelacak suara pada pengusir hama burung adalah burung pipit. Burung pipit merupakan burung kecil pemakan biji-bijian yang menyebar di wilayah tropis. Burung ini dimasukkan ke dalam suku Estrildidae, bagian dari suku Passeridae. Nama latin burung pipit adalah *Lonchura punctulata*. Sedangkan di luar negeri, burung pipit dikenal dengan nama Munia.

### a. Taksonomi

Pipit mempunyai beragam spesies. Akan tetapi, ahli perburungan seringkali menempatkannya pada genus/marga yang berbeda, misalnya pipit emas (*Amandava amandava*), bondol hijau (*Erythrura prasina*), bondol haji (*Lonchura maja*), pipit kepala hitam (*Lonchura malacca*), dan pipit jawa (*Lonchura leucogusoides*). Adapun taksonomi burung pipit adalah sebagai berikut:

- Kingdom: Animalia
- Phylum: Chordata
- Class: Aves
- Ordo: Passeriformes
- Family: Estrildidae
- Genus: *Lonchura*
- Species: *Lonchura punctulata*

### b. Habitat dan makanan

Burung pipit tinggal di area terbuka di dekat sumber makanan mereka yang terdapat banyak tanaman rumput berbiji seperti sawah atau padang rumput. Makanan utama burung pipit adalah biji-bijian seperti padi. Saat musim kawin, burung pipit akan memakan dedaunan hijau dan serangga sebagai tambahan nutrisi. Padi yang

sudah menghasilkan biji akan diincar oleh sekelompok burung pipit sehingga burung pipit dikelompokkan sebagai hama karena dapat mengurangi produktivitas pertanian padi.



**Gambar 2.2** Burung pipit

Gambar 2.2 merupakan sekelompok burung pipit dengan morfologi ukuran tubuhnya yang kecil. Burung ini termasuk hama padi karena menyerang biji padi.

### **2.3 Mikrokontroler STM32F4**

Mikrokontroler STM32F4 termasuk dalam keluarga mikrokontroler 32 bit dengan arsitektur ARM. Mikrokontroler jenis STM32F4 merupakan seri pertama dalam kelompok STM32 dengan ARM core-M4F. Seri F4 juga merupakan seri pertama dari STM32 yang dapat melakukan *digital signal processing* (DSP). Seri STM32F4 memiliki pin-pin yang sama dengan pin-pin STM32F2 dengan penambahan kecepatan clock yang lebih tinggi dari STM32F2, 64K CCM static RAM, full duplex I<sup>2</sup>S, dan memiliki kecepatan konversi ADC.

Berdasarkan chip STM32F407VGT6, *board* mikrokontroler ini memiliki *ST-LINK/V2 embedded debug tool*, accelerometer digital, mikrofon digital, satu *audio DAC* dengan driver speaker *class D* terintegrasi, beberapa LED dan *push buttons* dan sebuah konektor USB OTG micro-AB.

Ciri khas mikrokontroler jenis STM32F4 dapat diketahui berdasarkan beberapa spesifikasi sebagai berikut:

a. Core : ARM Cortex-M4F dengan *clock* 84/168/180 MHz.

b. Memori

*Static* RAM sampai 192KB, 64KB *core coupled memory*(CCM), 4KB *battery-backed*. Flash terdiri dari 512/1024/2048KB, 30KB *system boot*, 512 byte *one-time-programmable*(OTP)

c. Peripheral

USB 2.0 OTG HS dan FS, dua CAN 2.0B, SPI, dua I<sup>2</sup>S, tiga I<sup>2</sup>C, empat USART, dua UART, SDIO untuk kartu SD/MMC, dua belas timer 16 bit, dua timer 32 bit, dua timer watchdog, sensor temperatur, 16 atau 24 kanal dalam tiga ADC, dua DAC, 51 sampai 140 GPIO, enam belas DMA, RTC.

STM32F4x7 memiliki ethernet MAC dan antar muka kamera. STM32F41x/43x memiliki *cryptographic processor* untuk DES / TDES / AES. STM32F4x9 memiliki pengontrol LCD-TFT. Osilator terdiri dari internal (16 MHz, 32 kHz) atau eksternal (4 to 26 MHz, 32.768 to 1000 kHz). Tegangan kerja sekitar 1.8 sampai 3.6 volt.



**Gambar 2.3** *Board Stm32f4-Discovery*

Gambar 2.3 merupakan gambar dari *Board Stm32f4-Discovery* yang sudah dilengkapi dengan *downloader* tipe ST-Link untuk memasukkan program dari komputer ke mikrokontroler STM32F4.



### 2.1.1 Analog to Digital(ADC) STM32F4

ADC merupakan pengubah besaran analog yang berupa tegangan analog menjadi besaran digital supaya dapat diproses secara digital. Mikrokontroler STM32F4xx memiliki 3 ADC dengan masing-masing ADC memiliki 19 kanal. Sembilan belas kanal ADC ini terbagi menjadi 16 kanal ADC eksternal dan 3 kanal ADC internal.

**Tabel 2.1** Kanal ADC pada STM32F4<sup>[5]</sup>

APB	2	2	2
ADC Channel 0	PA0	PA0	PA0
ADC Channel 1	PA1	PA1	PA1
ADC Channel 2	PA2	PA2	PA2
ADC Channel 3	PA3	PA3	PA3
ADC Channel 4	PA4	PA4	PF6
ADC Channel 5	PA5	PA5	PF7
ADC Channel 6	PA6	PA6	PF8
ADC Channel 7	PA7	PA7	PF9
ADC Channel 8	PB0	PB0	PF10
ADC Channel 9	PB1	PB1	PF3
ADC Channel 10	PC0	PC0	PC0
ADC Channel 11	PC1	PC1	PC1
ADC Channel 12	PC2	PC2	PC2
ADC Channel 13	PC3	PC3	PC3
ADC Channel 14	PC4	PC4	PF4
ADC Channel 15	PC5	PC5	PF5

### 2.1.2 Timer STM32F4

Timer merupakan fitur untuk pewaktu. STM32F4 sebagai mikrokontroler juga memiliki timer sebagai pewaktuannya. STM32F4 memiliki sampai 14 timer. Timer juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan sinyal kotak PWM.

**Tabel 2.2** Macam-macam Timer, resolusi, dan clock Timer STM32F4<sup>[6]</sup>

Timer	Type	Resolution	Prescaler	Channels	MAX INTERFACE CLOCK	MAX TIMER CLOCK*	APB
TIM1, TIM8	Advanced	16bit	16bit	4	SysClk/2	SysClk	2
TIM2, TIM5	General purpose	32bit	16bit	4	SysClk/4	SysClk, SysClk/2	1
TIM3, TIM4	General purpose	16bit	16bit	4	SysClk/4	SysClk, SysClk/2	1
TIM9	General purpose	16bit	16bit	2	SysClk/2	SysClk	2
TIM10, TIM11	General purpose	16bit	16bit	1	SysClk/2	SysClk	2
TIM12	General purpose	16bit	16bit	2	SysClk/4	SysClk, SysClk/2	1
TIM13, TIM14	General purpose	16bit	16bit	1	SysClk/4	SysClk, SysClk/2	1
TIM6, TIM7	Basic	16bit	16bit	0	SysClk/4	SysClk, SysClk/2	1

### 2.1.3 Digital to Analog(DAC) STM32F4

Sinyal DAC menggunakan timer untuk menghasilkan keluaran dan DMA untuk mentransfer data dari memori ke peripheral DAC. DAC mempunyai dua kanal keluaran yaitu DAC1 pada PA4 dan DAC2 pada PA5.

**Tabel 2.3** Kanal DAC pada STM32F4<sup>[7]</sup>

DACx	STM32F4	Description
DAC1	PA4	DAC Channel 1
DAC2	PA5	DAC Channel 2

Tabel 2.3 merupakan kanal DAC yang dimiliki oleh STM32F4. Mikrokontroler STM32F4 dapat menghasilkan sinyal analog hasil pengubahan sinyal digital melalui fitur DAC ini.

## 2.4 Mikrofon

Mikrofon adalah alat yang digunakan untuk mengubah besaran suara menjadi besaran listrik. Mikrofon memiliki banyak macam, seperti: Mikrofon kristal, mikrofon elektrodinamik, dan mikrofon kondensor.

Mikrofon elektrodinamik menggunakan kumparan dan magnet tetap. Sinyal suara menghasilkan getaran yang akan menggetarkan membran. Getaran membran ini menyebabkan posisi kumparan berubah-ubah sesuai dengan getaran suara. Kumparan yang bergetar di medan magnet akan menyebabkan timbulnya beda potensial. Beda potensial yang dihasilkan akan mengikuti amplitudo getaran.

Mikrofon kondensor adalah mikrofon yang menggunakan bahan dengan menerapkan sifat kondensor. Tiap kali membran bergetar akibat getaran suara, terjadilah perubahan nilai kapasitansi kapasitor yang kemudian akan diubah ke dalam besaran listrik dengan tambahan sumber energi eksternal.

Mikrofon memiliki tingkat sensitivitas masing-masing. Mikrofon ada yang bersifat sensitif untuk segala arah, ada yang sensitif dua arah, dan ada yang sensitif hanya satu arah. Sensitivitas mikrofon tergantung dari desain dan struktur dari mikrofon. Sebuah mikrofon dibungkus dengan pembungkus akustik sehingga mikrofon mendapatkan arah sensitivitas yang sempit<sup>[9]</sup>.

## 2.5 Pre Amplifier

pre amplifier atau yang sering disebut sebagai pre-amp adalah perangkat terdepan dalam pengolahan sinyal audio. Pre-amp berfungsi menguatkan sinyal suara yang sangat lemah dari mikrofon maupun dari masukan audio lainnya supaya dapat menghasilkan sinyal yang cukup untuk dimasukkan ke tahap berikutnya. Biasanya level hasil penguatan dari pre-amp sebesar 150mV. Desain dari pre-amp disesuaikan dengan impedansi input dan impedansi output. Oleh karena itu, pre-amp memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan perangkat masukan dan perangkat yang terhubung ke keluaran pre-amp. Biasanya pre-amp didesain dengan impedansi masukan yang besar dan impedansi keluaran yang kecil. Semakin besar impedansi masukan, maka semakin peka masukannya dan daya sinyal masukan tidak banyak terbuang. Semakin kecil impedansi keluaran maka semakin fleksibel terhadap impedansi masukan tahap berikutnya.

## 2.6 Fast Fourier Transformation (FFT)

Suatu fungsi dengan periode tertentu dapat dinyatakan dalam deret Fourier. Fungsi yang tidak periodik atau dianggap memiliki periode tak berhingga menggunakan teknik transformasi fourier untuk menguraikan sinyal penyusunnya. Transformasi fourier digunakan untuk menguraikan sinyal ke domain frekuensi pembentuknya. Transformasi fourier juga disebut sebagai representasi domain frekuensi dari sinyal. Pengubahan itu dimaksudkan untuk mempermudah analisis yang dilakukan. Dalam bidang pengolahan sinyal maka pengubahan tersebut dapat dilakukan terhadap sinyal maupun terhadap sistemnya. Transformasi fourier sinyal akan menghasilkan spektrum sinyal. Sedangkan transformasi fourier terhadap sistem akan menghasilkan tanggapan frekuensi sistem. Apabila transformasi forier diterapkan terhadap sebuah sistem maka akan didapatkan tanggapan frekuensi dari sistem tersebut.

Transformasi fourier dapat dirumuskan seperti berikut ini:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (2.2)$$

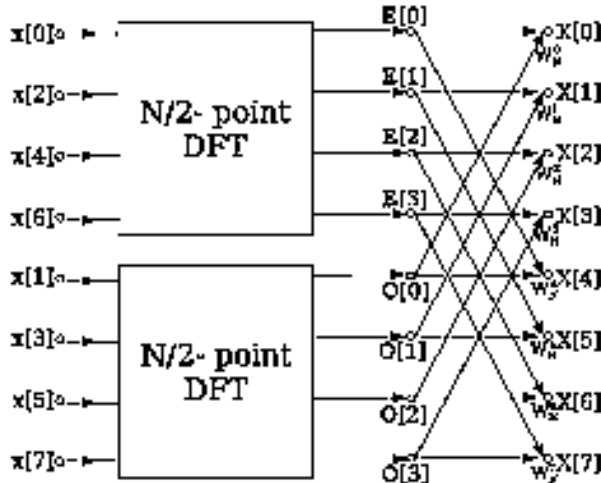
*Fast Fourier Transformation* dalam bahasa Indonesia adalah Transformasi fourier cepat adalah sumber dari suatu algoritma untuk menghitung *discrete fourier transform* (transformasi fourier

diskrit) dengan cepat dan efisien. Adapun rumus FFT adalah sebagai berikut:

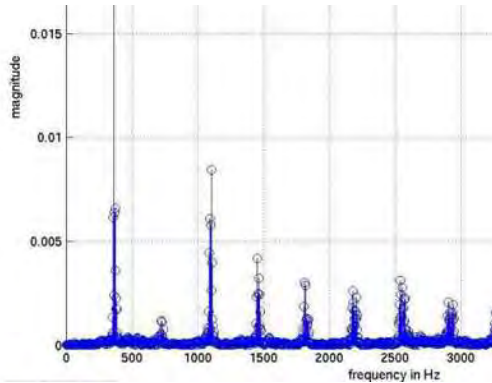
$$X_R(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \left[ X_r(n) \cos 2\pi \frac{k}{N} n + X_i(n) \sin 2\pi \frac{k}{N} n \right] \quad (2.3)$$

$$X_I(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \left[ X_R(n) \sin 2\pi \frac{k}{N} n + X_i(n) \cos 2\pi \frac{k}{N} n \right] \quad (2.4)$$

*Fast Fourier Transform* (FFT) diterapkan dalam beragam bidang dari pengolahan sinyal digital dan memecahkan persamaan diferensial parsial menjadi algoritma-algoritma untuk penggantian bilangan integer dalam jumlah banyak. Adapun kelas dasar dari algoritma FFT yaitu *decimation in time* (DIT) dan *decimation in frequency* (DIF). FFT ini dikatakan cepat karena formulasi *FFT* jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode perhitungan algoritma transformasi fourier sebelumnya. Metode FFT memerlukan sekitar 10000 operasi algoritma matematika untuk data dengan 1000 observasi, 100 kali lebih cepat dibandingkan dengan metode sebelumnya.



**Gambar 2.4** Algoritma *butterfly* FFT

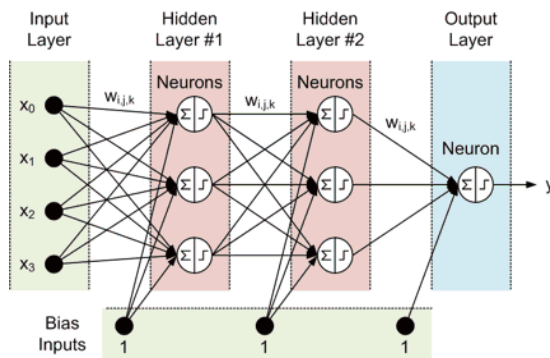


**Gambar 2. 5** Grafik hasil proses FFT

Gambar 2.5 merupakan grafik hasil konversi domain waktu dari suatu sinyal menjadi domain frekuensi.

## 2.7 Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Jaringan saraf tiruan merupakan algoritma kecerdasan buatan yang meniru sistem saraf pada manusia. JST dapat melakukan proses pembelajaran terhadap masukan yang diberikan. Pembelajaran ini pada dasarnya adalah pengubahan besarnya nilai *weight* untuk setiap akson berdasarkan konstanta pembelajaran, masukan, tingkat kesalahan, dan keluaran seperti yang diinginkan.



**Gambar 2. 6** Pemodelan jaringan saraf tiruan



Pada dasarnya jaringan saraf tiruan seperti gambar 2.6 adalah menjumlahkan nilai perkalian antara masukan dengan besarnya *weight* seperti rumus berikut ini:

$$o_j = \varphi(\text{net}_j) = \varphi \left( \sum_{k=1}^n w_{kj} x_k \right) \quad (2.5)$$

Hasil keluaran tiap layer harus dilewatkan fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi ada beberapa macam, salah satunya adalah fungsi aktivasi *binary sigmoid* seperti rumus berikut ini:

$$\varphi(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (2.6)$$

## 2.8 Amplifier

Amplifier merupakan peralatan elektronika yang dapat meningkatkan daya suatu sinyal. Amplifier dapat menguatkan tegangan, arus, bahkan tegangan dan arus suatu sinyal. Penguatan ini diperoleh dari sumber daya yang kemudian mencocokkan bentuk sinyal keluaran dengan sinyal masukan dengan pengutan beberapa kali. Amplifier memiliki beberapa kelas, antara lain sebagai berikut:

### a. Amplifier kelas A

Amplifier kelas A memiliki titik kerja pada pertengahan garis kerja. Amplifier kelas A mengkonduksikan 360° sinyal *input* sehingga sinyal *output* sangat mendekati bentuk asli dari sinyal *input*.

### b. Amplifier kelas B

Amplifier kelas B bekerja pada titik *cut-off*. Amplifier kelas B terdiri dari dua transistor yang mana tiap transistor hanya mengkonduksikan satu fasa dan transistor lainnya mengkonduksikan fasa lainnya. Efisiensi dari amplifier kelas B lebih besar daripada kelas A sekitar 78,5%. Namun, amplifier kelas B memiliki permasalahan pada *cross over* yang disebabkan oleh drop  $V_{BE}$  sebesar 0.7V sehingga sinyal *output* sedikit berbeda dengan sinyal *input*.

c. Amplifier kelas AB

Amplifier kelas AB memadukan antara amplifier kelas A dan kelas B. Titik kerja amplifier kelas AB di atas sedikit dari titik *cut-off*. Tujuannya untuk mendapatkan sinyal yang mendekati sinyal kelas A dan memiliki efisiensi tinggi seperti kelas B. Cara kerja amplifier kelas AB hampir sama dengan kelas B yaitu satu transistor hanya mengkonduksikan satu fasa. Namun, transistor lainnya mengkonduksikan sebagian kecil fasa lainnya. Tingkat efisiensi kelas AB berada di bawah efisiensi kelas B dan di atas kelas A.

d. Amplifier kelas C

Amplifier kelas C hanya mengkonduksikan kurang dari 50% dari sinyal *input* dan memiliki distorsi sinyal *output* yang besar. Efisiensi amplifier kelas C dapat mencapai 90%.

e. Amplifier kelas D

Amplifier kelas D menggunakan komponen *switching* untuk membandingkan sinyal *input* dengan sinyal segitiga menjadi sinyal PWM dengan *duty cycle* yang berubah-ubah sesuai dengan sinyal *input*. Sinyal ini kemudian dikuatkan dan akan diubah kembali menjadi sinyal semula dengan rangkaian low pass filter. Amplifier kelas D memiliki efisiensi yang sangat tinggi karena menggunakan teknik *switching* sehingga daya disipasi sangat kecil.

## 2.9 Loudspeaker

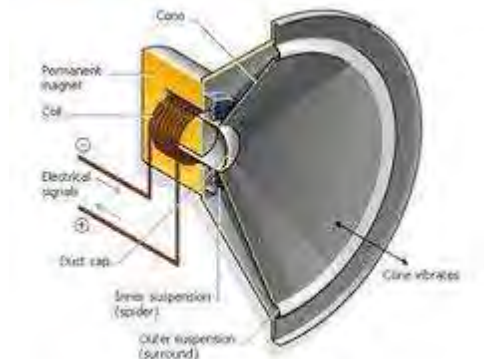
*Loudspeaker* merupakan sebuah *transduser elektroacoustical* yang mengubah sinyal listrik ke bentuk getaran suara. *Loudspeaker* adalah mesin pengubah terakhir atau kebalikan dari mikrofon. *Loudspeaker* membawa sinyal listrik dan mengubahnya kembali menjadi getaran-getaran fisik untuk menghasilkan gelombang-gelombang suara.

Dalam *loudspeaker* terdapat sekat rongga tipis, membran agak kaku diletakkan ditengah-tengah magnet. Magnet menginduksi membran hingga bergetar dan menghasilkan suara. *Loudspeaker* ini mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara sehingga dapat didengar manusia. Secara singkat bagian yang terpenting dari loudspeaker adalah : konus, suspensi, kumparan suara, dan magnet. Perubahan medan magnet di dalam *loudspeaker* akan berinteraksi dengan medan konstan magnet yang menyebabkan kumparan

bergerak sebagai reaksi akibat ada tidaknya arus. Konus ikut bergerak akibat kumparan suara bergerak sehingga pada udara sekitar konus akan terbentuk gelombang tekanan. Gelombang inilah yang terdengar sebagai bunyi.

Jenis Jenis *loudspeaker*:

- Tweeter, adalah jenis *loudspeaker* yang dibuat khusus untuk reproduksi suara berfrekuensi tinggi (nada treble). *loudspeaker* jenis ini tidak membutuhkan ruang resonansi belakang.
- Midrange, adalah jenis *loudspeaker* yang dibuat khusus untuk mereproduksi sinyal audio dengan nada menengah (nada middle).
- Woofer, adalah jenis *loudspeaker* yang dibuat khusus untuk mereproduksi sinyal audio dengan nada rendah (nada bass). *Loudspeaker* jenis ini membutuhkan ruang resonansi belakang yang cukup.
- Fullrange, adalah jenis *loudspeaker* yang mampu mereproduksi sinyal audio pada semua range frekuensi audio.
- Horn, adalah jenis *loudspeaker* yang dibuat khusus untuk mereproduksi sinyal audio pada range frekuensi vokal manusia.



**Gambar 2.7** Bagian-bagian *loudspeaker*

Gambar 2.7 merupakan penampang membujur dari *loudspeaker* sehingga tampak bagian-bagian *loudspeaker* yang terdiri dari: magnet permanen, kumparan, membran, dan kabel untuk kelistrikan.

## 2.10 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup sehingga dapat diatur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor tersebut.



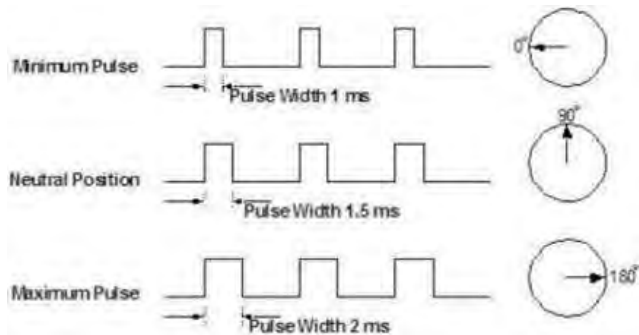
**Gambar 2. 8** Motor servo standar 180°

Gambar 2.8 merupakan motor servo standar 180°. Terdapat 3 kabel yaitu *ground*, *vcc*, dan *data*. Jenis motor servo adalah motor servo standar 180° dan motor servo *continuous*. Motor servo standar 180° mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) dengan defleksi masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total sudut dari kanan-tengah-kiri adalah 180°. Motor servo *continuous* mampu bergerak dua arah (CW dan CCW) tanpa batasan defleksi sudut putar (dapat berputar secara kontinyu). Berikut ini ada beberapa aplikasi dari motor servo:

- *Manipulators*
- *Moving camera's*
- *Robot arms*

Pengendalian gerakan motor servo dapat dilakukan dengan metode pengaturan  $T_{on}$ . Teknik ini menggunakan sistem lebar pulsa untuk mengendalikan putaran motor servo. Semakin kecil  $T_{on}$ , semakin ke kiri posisi sudut. Semakin besar  $T_{on}$  semakin ke kanan posisi sudut.

Berikut sistem sinyal pada motorservo dijelaskan pada gambar dibawah ini:



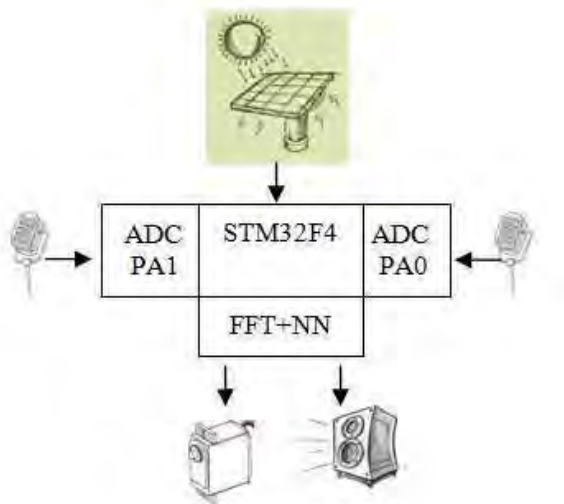
**Gambar 2. 9** Pensinyalan kontrol servo

Pada gambar 2.9 adalah pergerakan motor servo ke kanan atau ke kiri yang tergantung dari  $T_{on}$  yang diberikan. Jika  $T_{on}$  yang diberikan 1ms, sudut yang terbentuk adalah  $0^\circ$ . Jika diberikan  $T_{on}$  1,5 ms, sudut yang terbentuk  $90^\circ$ . jika diberikan  $T_{on}$  2 ms, sudut yang terbentuk  $180^\circ$ .

### BAB III

## PERANCANGAN SISTEM

Perancangan alat pelacak suara pada pengusir hama burung terdiri dari beberapa bagian, yaitu perancangan Kelistrikan, perancangan mekanik, dan perancangan perangkat lunak. Dalam perancangan semua alat terdapat keterkaitan antara satu dengan yang lainnya. Alat pelacak suara pada pengusir hama burung ini dapat mendeteksi dari mana arah sumber suara burung yang kemudian sistem pengusir hama burung ini diarahkan ke asal suara burung. Penentuan arah suara burung ini menggunakan mikrofon *stereo* yang menganalogikan dengan dua telinga manusia. Perbedaan level suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri dapat digunakan untuk mendeteksi asal suara. Pendeteksian seperti ini disebut sebagai *interaural level difference (ILD)*.



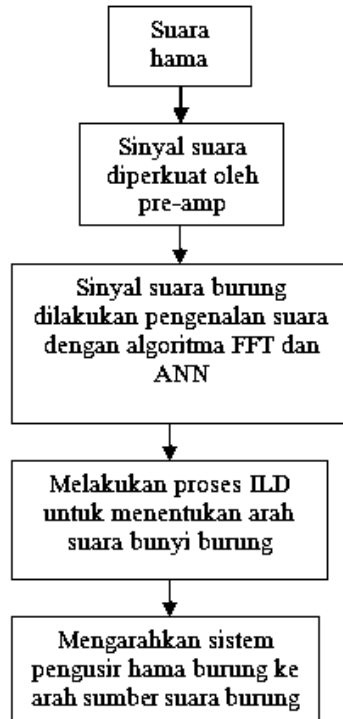
**Gambar 3.1** Sketsa alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung

Pada gambar 3.1 suara burung merambat melalui udara yang akan ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri. Level suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri terdapat perbedaan karena ada perbedaan jarak tempuh yang ditempuh oleh suara untuk mencapai ke mikrofon kanan dan kiri. Suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri akan diidentifikasi apakah suara yang masuk itu termasuk suara hama burung atau suara lain. Identifikasi ini menggunakan *fast fourier transform* (FFT) untuk mengubah domain waktu sinyal menjadi domain frekuensi. Frekuensi-frekuensi yang dihasilkan dari proses FFT ini akan diolah oleh *artificial neural network* (ANN) untuk dicocokkan dengan pola frekuensi hama burung yang sudah dilakukan proses *train*.

Pemrosesan sistem ini menggunakan STM32F4 yang merupakan keluarga ARM M4. Data yang akan diolah oleh STM32F4 adalah sinyal suara yang berasal dari mikrofon. Port input yang digunakan adalah port *analog to digital converter* (ADC) yang terletak pada PA0 dan PA1 untuk masing-masing mikrofon. Pemrosesan selanjutnya adalah melakukan perubahan domain waktu sinyal suara ke domain frekuensi supaya lebih mudah mengidentifikasi sinyal suara. Pemrosesan ini melibatkan algoritma *fast fourier transform* (FFT) dan *digital signal processing* (DSP). Proses FFT dan DSP ini dilakukan oleh STM32F4 karena mendukung operasi DSP dan juga kecepatan clocknya yang tinggi sebesar 168MHz memungkinkan proses FFT dan DSP berjalan cepat. Frekuensi sinyal burung yang dominan diambil dan amplitudonya dibandingkan antara amplitudo sinyal suara dari mikrofon kanan dengan mikrofon kiri untuk mengetahui arah datang suara burung. *Output* STM32F4 ini berupa sinyal PWM untuk menggerakkan servo. Servo menggerakkan sistem pengusir hama burung ke arah datangnya suara burung.

Sumber daya sistem pengusir burung ini menggunakan panel surya karena sesuai dengan hama burung yang keluar di siang hari. Listrik dari panel surya ini dilewatkan regulator yang akan menjaga tegangan panel surya tetap stabil meskipun di saat mendung. Panel surya ini dilengkapi dengan baterai untuk kondisi darurat saat energi dari panel surya tidak mampu mengaktifkan sistem pengusir burung. STM32F4 membutuhkan tegangan 5V sehingga diperlukan regulator penurun tegangan menjadi 5V supaya tidak merusak STM32F4.

### 3.1 Blok Diagram Sistem



**Gambar 3.2** Diagram blok alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung

Gambar 3.2 merupakan diagram blok dari alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung. Mikrofon *stereo* akan menerima suara burung yang berada di sekitarnya. Masing-masing sinyal suara dari mikrofon ini akan diubah ke sinyal listrik dan diperkuat oleh *pre-amp* untuk memperbesar sinyal supaya sinyal suara dapat dibaca oleh ADC. Masing-masing sinyal dari *pre-amp* akan dimasukkan ke ADC PA0 dan PA1 untuk diproses oleh STM32F4. Pemrosesan tersebut berupa *fast fourier transformatio* (FFT) dan *artificial neural network* (ANN). FFT digunakan untuk mengubah



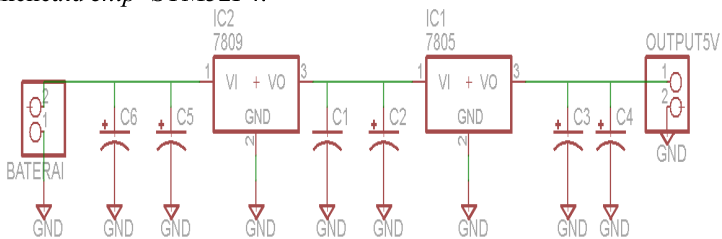
domain sinyal yang masih berupa waktu menjadi domain frekuensi. Pengubahan domain ini dimaksudkan supaya lebih mudah mengidentifikasi sinyal suara. Setiap suara terdiri dari beberapa frekuensi. Dengan pengubahan domain waktu ke domain frekuensi ini dapat diketahui frekuensi dominan dari sinyal suara burung. Pola-pola frekuensi suara burung dari hasil FFT ini dimasukkan ke *artificial neural network* (ANN) untuk mengidentifikasi sinyal suara tersebut apakah suara burung atau bukan. Jika hasil pengenalan suara mendeteksi suara burung, maka akan dilakukan uji perbandingan level amplitudo sinyal yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri. Teknik ini disebut teknik *interaural level difference* (ILD). Amplitudo yang dibandingkan hanya amplitudo pada frekuensi dominan suara burung. Jika selisih antara amplitudo sinyal yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri melebihi besarnya eror yang sudah ditetapkan, akan dilakukan perbandingan amplitudo manakah yang lebih besar. Jika amplitudo yang ditangkap oleh mikrofon kanan lebih besar daripada yang kiri maka motor servo menggerakkan sistem pengusir hama burung ke kanan sampai selisih amplitudo kanan dan kiri sudah di bawah eror yang sudah ditetapkan. Begitu juga sebaliknya, jika amplitudo yang ditangkap oleh mikrofon kiri lebih besar daripada yang kanan maka motor servo menggerakkan sistem pengusir hama burung ke kiri sampai selisih amplitudo kanan dan kiri sudah di bawah eror. Setelah sistem pengusir hama burung mengarah ke arah sumber suara burung, sistem pengusir hama burung mengeluarkan frekuensi pengusir burung. Amplitudo dari frekuensi pengusir hama burung ini secara otomatis akan menyesuaikan dengan estimasi jarak sumber suara ke sistem.

### **3.2 Perancangan Kelistrikan Alat Pelacak Suara pada Sistem Pengusir Hama Burung**

Catu daya adalah perangkat listrik yang digunakan untuk memberikan tegangan pada STM32F4, mikrofon, penguat sinyal pengusir burung, dan motor servo. Catu daya yang digunakan pada alat ini menggunakan listrik dari panel surya. Panel surya ini kemudian dihubungkan ke regulator tegangan untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran panel surya supaya tetap dapat mengisi listrik baterai. Listrik dari panel surya memerlukan tempat baterai untuk menyimpan muatan listrik. Baterai ini akan memberikan

listrik ke sistem dengan lebih stabil tegangannya sehingga aman untuk sistem.

Tegangan yang dihasilkan baterai adalah 12 volt. Tegangan 12 volt ini harus diturunkan terlebih dahulu menjadi 5 volt menggunakan regulator 7805. Namun, sebelum diturunkan ke 9 volt supaya regulator 7805 tidak terlalu panas. Selisih tegangan masukan dengan tegangan keluaran inilah yang akan diubah menjadi panas. *Board* STM32F4 membutuhkan tegangan 5 volt. Begitu juga motor servo yang digunakan untuk mengarahkan sistem pengusir hama burung ke arah burung juga membutuhkan catu daya sebesar 5 volt. Alat pelacak suara pada sistem pengusir burung ini juga membutuhkan catu daya sebesar 3,3 volt yang dapat diperoleh dari *board* STM32F4. *Board* STM32F4 sendiri sudah dilengkapi regulator 3,3 volt. Tegangan sebesar 3,3 volt digunakan untuk mencatu *chip* STM32F4.



**Gambar 3.3** Rangkaian catu daya 5 volt

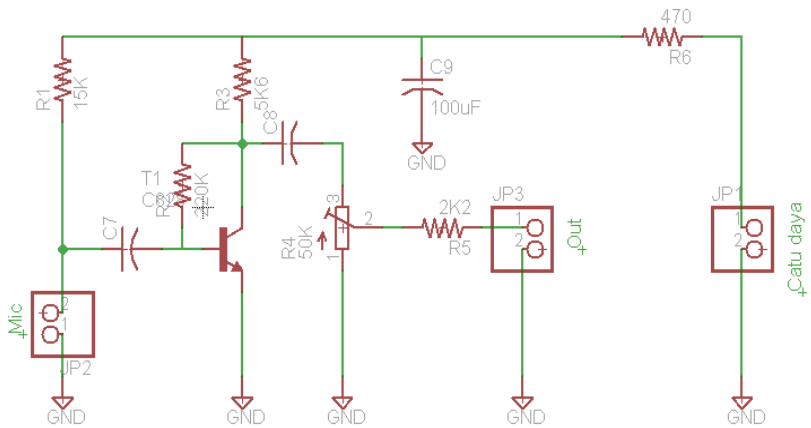
Gambar 3.3 merupakan skema dari rangkaian regulator 5 volt dengan tegangan masukan sebesar 12 volt. Regulator ini disusun secara bertahap penurunannya. Tegangan 12 volt dari baterai diturunkan ke tegangan 9 volt terlebih dahulu. Hal ini untuk meminimalisasi disipasi panas karena selisih antara tegangan masukan dengan tegangan keluaran dikalikan dengan arus yang mengalir akan dibuang menjadi daya panas.

### 3.3 Rangkaian Mikrofon Stereo

Mikrofon merupakan perangkat listrik yang digunakan untuk mengubah getaran suara menjadi sinyal listrik. Mikrofon yang dipilih adalah jenis mikrofon kondensor karena kesensitivannya yang lebih besar dibandingkan mikrofon jenis lain. Selain itu, ukuran mikrofon kondensor yang kecil sehingga lebih praktis.

Terdapat dua buah mikrofon yang dipasang di sebelah kanan dan kiri. Pemasangan mikrofon ini dianalogikan dengan telinga manusia yang memiliki telinga kanan dan kiri. Adanya mikrofon *stereo* yang dipasang di sebelah kanan dan kiri ini dimaksudkan untuk mendeteksi dari arah manakah sumber suara berasal.

Mikrofon kondensor tidak dapat menghasilkan listrik sendiri dari getaran suara. Oleh karena itu, mikrofon kondensor membutuhkan catu daya. Sinyal dari mikrofon kondensor masih sangat kecil sehingga perlu dikuatkan dengan pre-amp yang khusus untuk mikrofon kondensor.



**Gambar 3.4** Rangkaian pre-amp mikrofon kondensor

Pemanfaatan mikrofon *stereo* dengan pemasangan seperti pada gambar 3.4 adalah untuk mendapatkan perbedaan amplitudo sinyal suara yang ditangkap oleh telinga kanan dengan telinga kiri. Perbedaan amplitudo ini disebut dengan metode *interaural level difference* (ILD). Metode ILD inilah yang akan menentukan dari arah manakah sumber suara berasal. Teknik ILD ini hanya digunakan untuk mengetahui sumber suara berada di sebelah kanan atau kiri sistem. Setelah sistem mendeteksi arah sumber suara maka servo mengarahkan sistem ke arah sumber suara dan melakukan perhitungan terus menerus apakah perbedaan amplitudo antara

sinyal mikrofon kanan dengan kiri sudah di bawah eror yang sudah ditetapkan.

Pemasangan mikrofon kanan dengan kiri berjarak sekitar 21 cm. hal ini mengacu pada jarak rata-rata antara dua telinga manusia. Adanya jarak sebesar 21 cm ini membuat perbedaan level suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan level sinyal suara inilah yang disebut ILD.

### 3.4 Mikrokontroler ARM STM32F4

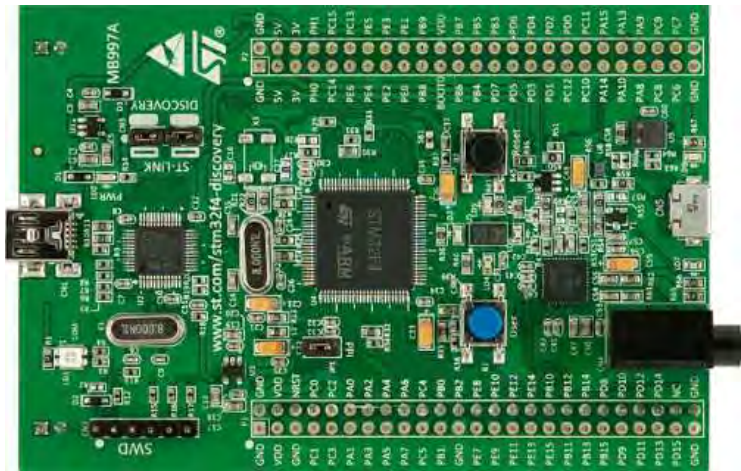
Dalam tugas akhir ini menggunakan mikrokontroler dari keluarga ARM STM32F4 yang menggunakan cortex M4. Pemilihan STM32F4 ini untuk menangani proses perhitungan yang kompleks yaitu *fast fourier transform* (FFT) dan *artificial neural network* (ANN). Selain itu kecepatan *clock* STM32F4 cukup cepat yang dapat mencapai 168MHz sehingga proses eksekusi program lebih cepat. STM32F4 menggunakan arsitektur 32 bit yang cepat dan handal, tetapi hemat energi sehingga lebih efisien.

ADC mikrokontroler STM32F4 digunakan untuk mengubah sinyal suara analog menjadi digital melalui pin ADC STM32F4 yang terletak pada pin PA0 dan PA1. Sinyal analog diubah ke sinyal digital menggunakan frekuensi sampling 45KHz sehingga frekuensi sinyal maksimum yang diizinkan masuk ke pin ADC adalah 22,5KHz sesuai dengan persamaan *Nyquist*. Memanfaatkan persamaan *Nyquist* ini agar didapatkan sinyal digital yang mendekati sinyal analognya dan akan didapatkan sinyal digital yang akurat sehingga tidak merusak informasi yang dibawa oleh sinyal suara. Sinyal hasil ADC diproses dengan algoritma FFT untuk mendapatkan frekuensi penyusun sinyal. FFT ini menggunakan 512 sampel sehingga akan didapatkan domain frekuensi sebanyak 256. Resolusi frekuensi yang diperoleh adalah sebesar  $\frac{45000}{256} = 175 \text{ Hz}$ . Domain frekuensi disimpan di dalam *array*. Berdasarkan resolusi frekuensi sebesar 175 Hz maka frekuensi[0] mewakili frekuensi 0Hz, frekuensi[1] mewakili frekuensi 175Hz, frekuensi[2] mewakili frekuensi 340Hz, dan frekuensi[256] mewakili frekuensi 45KHz.

STM32F4 merupakan mikrokontroller yang menggunakan standar TTL 3,3 volt. Walaupun demikian, *board* STM32F4 sudah dilengkapi penurun tegangan dari 5 volt menjadi 3,3 volt. STM32F4

dapat dicatu dengan tegangan 5 volt. Regulator ini juga digunakan untuk menurunkan tegangan dari USB yang sebesar 5 volt menjadi 3,3 volt. *Board* STM32F4 sudah dilengkapi dengan downloader tipe ST-link untuk memasukkan program dari komputer ke STM32F4.

Clock yang digunakan oleh STM32F4 adalah 168MHz yang diperoleh dari kristal 8MHz dan dilipatgandakan frekuensinya oleh *frequency doubler*.



**Gambar 3.5** Mikrokontroler STM32F4

Gambar 3.5 merupakan gambar dari *board* STM32F4 dengan *downloader*-nya berupa ST-Link. *Board* STM32F4 sendiri sudah dilengkapi dengan berbagai periferal seperti: gyro, *amplifier* tipe D, DAC untuk suara, dan pin-pin GPIO yang siap pakai.

### 3.5 Perancangan Software pada Sistem

Perangkat lunak yang dirancang pada sistem tertanam pada STM32F4 memanfaatkan fungsi ADC, fungsi PWM dan fungsi DAC. Selain memanfaatkan periferal tersebut, sistem juga memanfaatkan penggunaan pustaka matematika yang digunakan untuk melakukan proses perhitungan FFT dan ANN.

STM32F4 memiliki fitur ADC dengan keakuratan tinggi resolusi 12 bit. ADC STM32F4 memiliki tegangan referensi 3,3

volt. Resolusi ADC STM32F4 adalah  $3300\text{mV}/4096 = 0,8\text{mV}$ . Fitur ADC STM32F4 ini digunakan sebagai port masukan sinyal suara dari mikrofon. Ada dua ADC yang digunakan dalam sistem ini yaitu pada PA0 dan PA1. Data dari mikrofon kanan dihubungkan ke PA0 dan data dari mikrofon kiri dihubungkan ke PA1.

```
for (i = 0; i < SAMPLES; i += 2) {
    Delay(21);

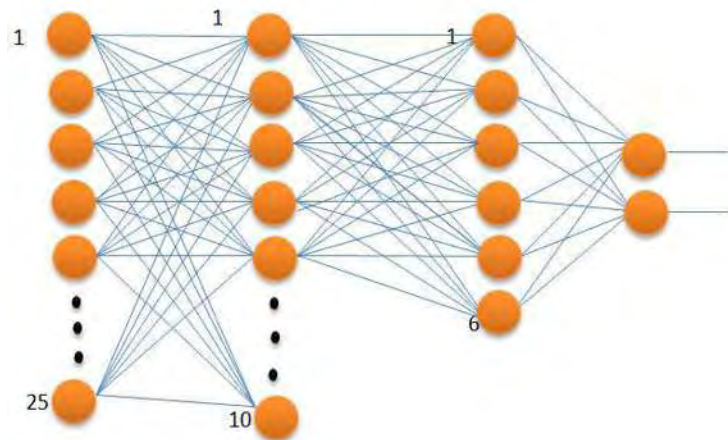
    //Bagian real harus antara -1 and 1 */
    InputKanan[i] = TM_ADC_Read(ADC1, ADC_Channel_0) -
        2048.0) / 2048.0;

    InputKiri[i] = (TM_ADC_Read(ADC1, ADC_Channel_1) -
        2048.0) / (float32_t)2048.0;
    //Bagian imajiner
    InputKanan[(i + 1)] = 0;
    InputKiri[(i + 1)] = 0;
}
```

Selanjutnya sinyal suara dilakukan proses pengubahan domain waktu menjadi domain frekuensi. Tujuan pengubahan ke domain frekuensi supaya lebih mudah mengolah sinyal suara dengan berbagai macam frekuensi. Pengubahan domain waktu ke domain frekuensi ini menggunakan algoritma *fast fourier transform* (FFT). Disebut sebagai *fast fourier transform* atau dapat disebut transformasi fourier cepat karena proses transformasinya lebih cepat dibandingkan dengan transformasi fourier konvensional. Dengan data sebanyak N, transformasi fourier konvensional membutuhkan operasi sebanyak  $N^2$ . Berbeda jauh jika dibandingkan dengan operasi FFT sebanyak N hanya membutuhkan operasi sebanyak  $N\log N$ . Hasil pengolahan FFT ini disimpan pada variabel OutputKanan dan OutputKiri.

```
arm_cfft_radix4_init_f32(&S, FFT_SIZE, 0, 1);
arm_cfft_radix4_f32(&S, InputKanan);
arm_cfft_radix4_f32(&S, InputKiri);
arm_cmplx_mag_f32(InputKanan, OutputKanan, FFT_SIZE);
arm_cmplx_mag_f32(InputKiri, OutputKiri, FFT_SIZE);
arm_max_f32(OutputKanan, FFT_SIZE, &maxValue, &maxIndex);
arm_max_f32(OutputKiri, FFT_SIZE, &maxValue, &maxIndex);
```

Pola-pola frekuensi hasil dari FFT kemudian dimasukkan ke ANN untuk diuji pengenalan suara burung. Proses *train* ANN dilakukan oleh komputer yang kemudian nilai dari *weight* dimasukkan ke program ANN pada STM32F4. Jika keluaran ANN mengenali suara burung, akan dilakukan ILD untuk menentukan arah suara burung. Desain ANN/JST menggunakan *input layer* sebanyak 25 titik, *hidden layer 1* sebanyak 10 titik, *hidden layer 2* sebanyak 6 titik, dan *output layer* sebanyak 2 titik. Suara burung didefinisikan ketika *output* dari ANN/JST bernilai 10 dengan eror 0,01.



**Gambar 3.6** Desain ANN/JST alat pelacak suara burung

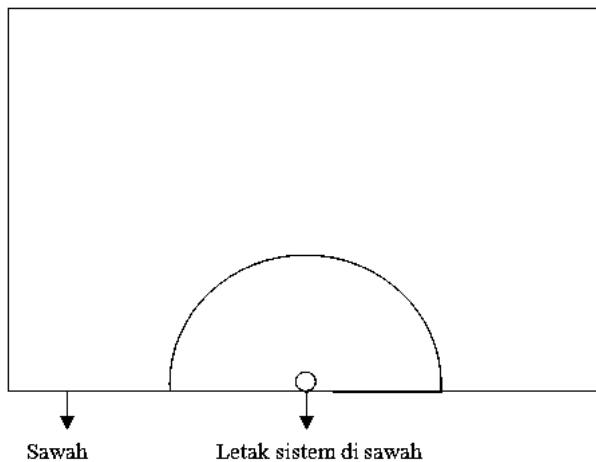
### 3.6 Servo Kontroler

Servo kontroler yang digunakan adalah hanya berupa sinyal PWM dari STM32F4. Servo yang digunakan adalah tipe servo *continuous* atau servo dengan sudut putaran 360 derajat. Pengontrolan servo *continuous* ini tidak ada penentuan lebar pulsa untuk pengaturan sudut, melainkan pengaturan lebar pulsa untuk memutar servo searah jarum jam, berlawanan arah jarum jam, dan berhenti. Sinyal PWM dengan periode sebesar 20 ms dengan lebar pulsa *high* sebesar 1,3 ms akan memutar servo berlawanan arah jarum jam. Untuk berputar searah jarum jam dibutuhkan lebar pulsa sebesar 1,7 ms. Sedangkan untuk berhenti dibutuhkan lebar pulsa

sebesar 1,5 ms. Meskipun servo yang digunakan adalah tipe 360 derajat, batasan sudut pergerakan sistem maksimal 180 derajat.

### 3.7 Perancangan Lapangan

Lapangan yang dimaksud adalah lahan sawah. Perancangan kali ini adalah berupa letak pemasangan sistem pengusir hama burung. Sistem pengusir hama burung ini hanya mampu berputar maksimal 180 derajat. Oleh karena itu, pemasangan sistem pengusir hama burung adalah di pinggir sawah seperti tampak pada gambar 3.6.



**Gambar 3.7** Letak pemasangan sistem di sawah

Gambar 3.7 merupakan perancangan tata letak alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung yang diterapkan di lahan sawah.



***Halaman ini sengaja dikosongkan***

### Jarak sumber suara ke sistem 120 cm

**Tabel 4.8** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 120 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Error Sudut (°)
0	180	180
20	180	160
40	180	140
60	80	20
80	Alat pelacak berputar terus	
100	Alat pelacak berputar terus	
120	Alat pelacak berputar terus	
140	Alat pelacak berputar terus	
160	180	20
180	180	0

Pengujian sudut dengan jarak sumber suara 120 cm terhadap sistem menghasilkan data bahwa alat pelacak sudah berkurang daya tangkapnya. Level amplitudo suara burung semakin teredam sehingga suara yang ditangkap oleh mikrofon sangat kecil. Level amplitudo yang kecil ini pula menyebabkan selisih level sinyal suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri kurang dari *hysteresis* perbedaan level amplitudo pada mikrofon kanan dan kiri.

Pengujian pendeteksian sudut datang suara burung dengan menggunakan jarak antarmikrofon sejauh 10 cm didapatkan bahwa hasil pendeteksian sudut terbaik terdapat pada jarak 100 cm sumber suara terhadap sistem.

### Jarak sumber suara ke sistem 150 cm

**Tabel 4.9** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 150 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Error Sudut (°)
0	Alat pelacak berputar terus	
20	Alat pelacak berputar terus	
40	40	0
60	50	10
80	0	80
100	100	0
120	Alat pelacak berputar terus	
140	Alat pelacak berputar terus	
160	80	80
180	Alat pelacak berputar terus	

Pengujian sudut dengan jarak sumber suara 150 cm terhadap sistem didapatkan hasil bahwa alat pelacak berkurang kemampuannya dalam mendeteksi sudut datang suara burung. Suara burung teredam oleh bertambahnya jarak sehingga sinyal suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri sangat sedikit. Hal ini mengakibatkan alat pelacak mengalami kesulitan pengolahan suara burung.

Pengujian sudut pada alat pelacak suara menggunakan jarak antarmikrofon sejauh 10 cm mengakibatkan eror yang besar karena perbedaan level amplitudo sinyal suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri hampir sama.

#### 4.3.2. Jarak antarmikrofon 15 cm Jarak sumber suara ke sistem 10 cm

**Tabel 4.10** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 10 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Eror Sudut (°)
0	Alat pelacak berputar terus	
20	Alat pelacak berputar terus	
40	28	40
60	Alat pelacak berputar terus	
80	Alat pelacak berputar terus	
100	95	16,6
120	Alat pelacak berputar terus	
140	Alat pelacak berputar terus	
160	Alat pelacak berputar terus	
180	Alat pelacak berputar terus	

Tabel 4.10 menunjukkan hasil bahwa dengan jarak antarmikrofon sejauh 15 cm menyebabkan alat pelacak kesulitan dalam mendeteksi sudut datang suara burung. Namun, jika perbandingan antara tabel 4.4 dengan tabel 4.10 bahwa eror sudut dengan jarak antarmikrofon 15 cm lebih kecil dibandingkan dengan jarak antarmikrofon 10 cm.

### Jarak sumber suara ke sistem 30 cm

**Tabel 4.11** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 30 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Error Sudut (°)
0	Alat pelacak berputar terus	
20	Alat pelacak berputar terus	
40	Alat pelacak berputar terus	
60	100	133,33
80	Alat pelacak berputar terus	
100	85	50
120	Alat pelacak berputar terus	
140	Alat pelacak berputar terus	
160	Alat pelacak berputar terus	
180	Alat pelacak berputar terus	

Pengujian sudut menggunakan jarak antarmikrofon 15 cm dan jarak sumber suara burung ke sistem sejauh 30 cm bahwa alat pelacak belum dapat mendeteksi sudut datang suara dengan baik. Jika dibandingkan antara tabel 4.5 dengan tabel 4.11 didapatkan bahwa tingkat eror yang menggunakan jarak antarmikrofon sejauh 15 cm lebih kecil daripada jarak antarmikrofon sejauh 10 cm.

### Jarak sumber suara ke sistem 60 cm

**Tabel 4.12** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 60 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Eror Sudut (°)
0	40	40
20	Alat pelacak berputar terus	
40	Alat pelacak berputar terus	
60	30	30
80	Alat pelacak berputar terus	
100	180	80
120	120	0
140	Alat pelacak berputar terus	
160	Alat pelacak berputar terus	
180	120	40

Tabel 4.12 hasil pengujian dengan jarak sumber suara ke sistem sejauh 60 cm. Hasil pengujian dengan jarak 60 cm hampir sama dengan jarak 30 cm menggunakan jarak antarmikrofon 15 cm. Namun, pada pengujian ini menghasilkan eror sudut yang lebih besar daripada menggunakan jarak antarmikrofon 10 cm dengan jarak sumber suara 60 cm ke sistem.

### Jarak sumber suara ke sistem 100 cm

**Tabel 4.13** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 100 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Eror Sudut (°)
0	60	200,00
20	85	216,67
40	Alat pelacak berputar terus	
60	0	200,00
80	85	16,67
100	Alat pelacak berputar terus	
120	65	183,33
140	Alat pelacak berputar terus	
160	20	466,67
180	130	166,67

Pengujian sudut menggunakan jarak 100 cm sumber suara terhadap sistem ini menunjukkan hasil rata-rata eror sudut yang hampir sama dengan pengujian menggunakan jarak 60 cm. Jika dibandingkan dengan hasil pengujian menggunakan jarak antarmikrofon sejauh 10 cm dan jarak sumber suara ke sistem 100 cm, didapatkan hasil bahwa pada pengujian dengan jarak sumber antarmikrofon 10 cm lebih banyak mendeteksi sudut uji. Hal ini karena dengan jarak yang cukup jauh maka suara lebih banyak teredam sehingga alat pelacak suara terkadang tidak mendeteksi sudut datang suara burung. Rata-rata eror sudut hasil pengujian pada alat pelacak suara yang menggunakan jarak antarmikrofon 15 cm lebih besar daripada rata-rata eror sudut pada alat pelacak suara menggunakan jarak antarmikrofon 10 cm.

### Jarak sumber suara ke sistem 120 cm

**Tabel 4.14** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 120 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Eror Sudut (%)
0	Alat pelacak berputar terus	
20	60	133,33
40	120	266,67
60	58	6,67
80	0	266,67
100	170	233,33
120	Alat pelacak berputar terus	
140	90	166,67
160	15	483,33
180	65	383,33

Pengujian sudut menggunakan jarak 120 cm sumber suara terhadap sistem ini menunjukkan hasil rata-rata eror sudut yang hampir sama dengan pengujian menggunakan jarak 100 cm. Jika dibandingkan dengan hasil pengujian menggunakan jarak antarmikrofon sejauh 10 cm dan jarak sumber suara ke sistem 100 cm, didapatkan hasil bahwa pada pengujian dengan jarak sumber antarmikrofon 15 cm lebih kecil tingkat eror sudut yang diuji.

Semakin jauh jarak sumber suara ke sistem menyebabkan teredamnya suara burung sehingga ketelitian alat pelacak menurun. Penggunaan jarak antarmikrofon 15 cm lebih teliti dalam mendeteksi sudut datang suara burung karena perbedaan level amplitudo yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri semakin signifikan dibandingkan dengan jarak 10 cm karena suara burung dengan frekuensi dominan berkisar antara 3KHz-6KHz lebih mudah mengalami redaman dengan penambahan jarak.



### Jarak sumber suara ke sistem 150 cm

**Tabel 4.15** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 15 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 150 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Eror Sudut (°)
0	90	90
20	150	130
40	Alat pelacak berputar terus	
60	35	25
80	75	5
100	180	80
120	180	40
140	Alat pelacak berputar terus	
160	120	40
180	175	5

Pengujian menggunakan jarak sumber suara ke sistem sejauh 150 cm menghasilkan data yang hampir sama dengan hasil pengujian dengan jarak 120 cm. Ada dua sudut uji yang tidak terdeteksi oleh alat pelacak suara ini. Penggunaan jarak antarmikrofon yang dekat mengakibatkan alat pelacak tidak dapat menentukan sudut suara dengan baik bahkan tidak dapat mendeteksinya.

Penggunaan jarak antarmikrofon sejauh 10 cm maupun 15 cm menghasilkan pendeteksian sudut datang suara dengan tingkat eror yang besar sehingga tidak penggunaan jarak antarmikrofon tersebut tidak cocok. Jarak antarmikrofon meniru konsep jarak antara kedua telinga manusia yang memiliki jarak sekitar 21 cm. Jarak antara kedua telinga sejauh 21 cm dapat menentukan sudut datang suara burung dengan lebih teliti dan presisi. Hasil pengujian sudut menggunakan jarak antarmikrofon sejauh 21 cm seperti pada tabel 4.16 - 4.21

### 4.3.3. Jarak antarmikrofon 21 cm Jarak sumber suara ke sistem 10 cm

**Tabel 4.16** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 10 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Error Sudut (°)
0	60	60
20	50	30
40	40	0
60	63	3
80	100	20
100	117	17
120	142	22
140	140	0
160	120	20
180	180	0
<b>Error Sudut Rata-rata</b>		<b>19,2</b>

Pengujian kali ini menggunakan jarak antarmikrofon sejauh 21 cm yang meniru jarak antara kedua telinga manusia. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa semua variasi sudut uji dapat terdeteksi oleh alat pelacak suara burung. Penggunaan jarak antarmikrofon sejauh 21 cm ini membuat perbedaan level amplitudo sinyal suara yang diterima oleh mikrofon kanan dan mikrofon kiri cukup signifikan. Perbedaan yang signifikan inilah yang membuat alat pelacak lebih mudah melakukan pendeteksian sudut datang suara burung.

Jarak sumber suara burung ke sistem sejauh 10 cm menghasilkan rata-rata eror sudut sebesar 19,2°. Nilai rata-rata eror sudut ini di bawah ambang batas eror sudut yang sebesar 30°. Nilai prosentasi eror sudut dihitung dengan membandingkan nilai eror sudut terhadap ambang batas eror sudut. Sepuluh variasi sudut uji yang eror sudutnya melebihi ambang batas hanya dua sudut, yaitu sudut 0° dan 160°. Berdasarkan rata-rata eror sudut hasil pengujian,

menunjukkan bahwa alat pelacak suara burung ini telah mampu mendekati arah sudut datang suara burung.

#### **Jarak sumber suara ke sistem 30 cm**

**Tabel 4.17** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 30 cm

<b>Sudut yang Diinginkan (°)</b>	<b>Sudut yang Terukur (°)</b>	<b>Error Sudut (°)</b>
0	55	55
20	40	20
40	120	80
60	81	21
80	85	5
100	85	15
120	150	30
140	152	12
160	140	20
180	175	5
<b>Error Sudut Rata-rata</b>		<b>26,3</b>

Pengujian sudut datang suara burung dengan jarak sumber suara sejauh 30 cm menghasilkan data bahwa alat pelacak suara masih dapat mendeteksi sudut datang suara burung dengan baik. Dibandingkan dengan nilai eror sudut rata-rata yang menggunakan jarak sumber suara sejauh 10 cm, maka nilai eror sudut rata-rata yang menggunakan jarak sumber suara sejauh 30 cm lebih besar. Pengaruh jarak dapat meredam amplitudo suara burung sehingga jarak sumber suara burung ke sistem mempengaruhi tingkat ketelitian sudut yang dideteksi.

Nilai eror sudut rata-rata pada pengujian yang menggunakan jarak sumber suara sejauh 30 cm masih di bawah nilai ambang batas eror sudut yang ditetapkan sebesar 30°. Nilai eror sudut rata-rata ini menunjukkan alat pelacak suara dapat bekerja dengan baik dan dapat mendeteksi sudut datang suara burung dengan akurat. Dari 10 variasi sudut uji hanya ada 2 sudut uji yang nilainya melebihi ambang batas eror sudut.

### Jarak sumber suara ke sistem 60 cm

**Tabel 4.18** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 60 cm

Sudut yang Diinginkan ( $^{\circ}$ )	Sudut yang Terukur ( $^{\circ}$ )	Eror Sudut ( $^{\circ}$ )
0	55	55
20	45	25
40	62	22
60	62	2
80	75	5
100	118	18
120	180	60
140	165	25
160	130	30
180	180	0
<b>Eror Sudut Rata-rata</b>		<b>24,2</b>

Pengujian sudut dengan jarak sumber suara ke sistem sejauh 60 cm menghasilkan nilai eror sudut rata-rata masih di bawah ambang batas eror sudut yang telah ditetapkan. Pada hasil pengujian ini, nilai eror sudut rata-rata lebih rendah daripada eror sudut rata-rata pada pengujian sebelumnya yang menguji sudut dengan jarak sumber suara sejauh 30 cm. Namun, jika dibandingkan dari adanya hasil pengujian sudut yang melebihi ambang batas eror sudut, maka pengujian sudut menggunakan jarak sumber suara sejauh 30 cm lebih bagus dibandingkan yang menggunakan jarak sumber suara sejauh 60 cm. Berdasarkan tabel 4.18 terdapat 2 sudut uji yang nilai hasil pengjiannya melebihi eror sudut yang telah ditetapkan yaitu pada sudut uji  $0^{\circ}$  dan  $120^{\circ}$ .

### Jarak sumber suara ke sistem 100 cm

**Tabel 4.19** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 100 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Eror Sudut (°)
0	18	18
20	0	20
40	50	10
60	180	120
80	160	80
100	70	30
120	160	40
140	160	20
160	155	5
180	130	50
<b>Eror Sudut Rata-rata</b>		<b>39,3</b>

Pengujian sudut dengan jarak sumber suara burung sejauh 100 cm mendapatkan hasil eror sudut rata-rata yang melebihi ambang batas eror sudut. Sepuluh variasi sudut uji, empat diantaranya memiliki eror sudut melebihi 30°. Jarak sumber suara burung sejauh 100 cm ini merupakan jarak maksimal dari *prototype* alat pelacak suara burung ini yang masih dapat terdeteksi sudutnya dengan baik dan masih mendekati ambang batas eror sudut rata-rata.

Jarak sumber suara terhadap sistem mengakibatkan suara burung teredam sehingga tingkat kepekaan alat pelacak suara burung ini semakin menurun. Alat pelacak suara burung ini masih dapat menangkap sinyal suara dan mendeteksi suara sudut datang suara burung meskipun jaraknya melebihi dari 100 cm.

### Jarak sumber suara ke sistem 120 cm

**Tabel 4.20** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 120 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Eror Sudut (°)
0	10	33,33
20	85	216,67
40	0	133,33
60	0	200
80	140	200
100	0	333,33
120	20	333,33
140	175	116,67
160	80	266,67
180	120	200
<b>Eror Sudut Rata-rata</b>		<b>61</b>

Pengujian sudut dengan jarak sumber suara burung sejauh 120 cm mendapatkan hasil eror sudut rata-rata yang melebihi ambang batas eror sudut. Sepuluh variasi sudut uji, delapan diantaranya memiliki eror sudut melebihi 30° dan cukup besar tingkat kesalahan sudut yang diuji. Jarak sumber suara burung yang melebihi 100 cm masih terdeteksi sudut datang suaranya. Akan tetapi, eror sudut semakin membesar seiring dengan penambahan jarak sumber suara burung ke sistem. Jarak sumber suara terhadap sistem mengakibatkan suara burung teredam sehingga tingkat kepekaan alat pelacak suara burung ini semakin menurun.

### Jarak sumber suara ke sistem 150 cm

**Tabel 4.21** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 21 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 150 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Eror Sudut (°)
0	40	40
20	85	65
40	100	60
60	180	120
80	120	40
100	180	80
120	180	60
140	160	20
160	100	60
180	140	40
<b>Eror Sudut Rata-rata</b>		<b>58,5</b>

Pengujian sudut dengan jarak sumber suara burung sejauh 100 cm mendapatkan hasil eror sudut rata-rata yang melebihi ambang batas eror sudut. Sepuluh variasi sudut uji, empat diantaranya memiliki eror sudut melebihi 30°. Jarak sumber suara burung sejauh 100 cm ini merupakan jarak maksimal dari *prototype* alat pelacak suara burung ini yang masih dapat terdeteksi sudutnya dengan baik dan masih mendekati ambang batas eror sudut rata-rata.

Jarak sumber suara terhadap sistem mengakibatkan suara burung teredam sehingga tingkat kepekaan alat pelacak suara burung ini semakin menurun. Alat pelacak suara burung ini masih dapat menangkap sinyal suara dan mendeteksi suara sudut datang suara burung meskipun jaraknya melebihi dari 100 cm.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA

Pengujian alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung terdiri dari beberapa bagian, yaitu pengujian perangkat keras dan perangkat lunak. Tujuan dari perancangan ini untuk mendapatkan parameter dari perancangan sistem tersebut. Alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung terdiri dari bagian sumber listrik yang berupa panel surya, sensor suara berupa mikrofon kondensor, prosesor yang berupa STM32F4, dan aktuator berupa servo. Berikut adalah gambar dari sistem pengusir hama burung pada gambar 4.1.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.1** (a)Panel surya, (b) Alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung,(c) dan aktuator servo

Gambar 4.1 (a) merupakan panel surya, regulator, dan baterai sebagai sumber energi listrik untuk alat pelacak suara. Tegangan dari panel surya bergantung dari intensitas cahaya matahari sehingga nilainya naik turun. Hal ini akan menyebabkan kerusakan alat sehingga diperlukan suatu regulator untuk menstabilkan nilai tegangan. Regulator akan menjaga nilai tegangan pada batas tegangan yang dapat mengisi baterai. Baterai digunakan untuk menyimpan muatan listrik sebagai antisipasi ketika daya dari panel listrik tidak dapat menghidupkan alat pelacak suara burung.

#### **4.1 Pengujian Perangkat Keras**

Pengujian perangkat keras dilakukan untuk mendapatkan parameter dalam perancangan sistem pada sistem elektronika dan mekanik. Pada sistem elektronika yang akan diukur dalam pengukuran yaitu tegangan panel surya, tegangan baterai, catu daya regulator 5 volt, mikrofon kondensor, servo, dan loudspeaker. Sedangkan pengukuran mekanik adalah pengukuran sudut eror sistem terhadap arah sumber suara burung.

##### **4.1.1. Pengujian Panel Surya**

Catu daya merupakan hal terpenting dalam menjalankan sistem. Catu daya yang digunakan untuk sistem adalah untuk menjalankan STM32F4, mikrofon kondensor, servo, dan *loudspeaker*. Catu daya yang digunakan berasal dari panel surya karena waktu keluarnya hama burung bersamaan dengan cahaya matahari. Panel surya dipasang menghadap ke atas tanpa mengikuti arah matahari. Panel surya yang digunakan berdimensi 31 cm x 27 cm. Panel surya pada alat pelacak suara burung ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Daya maksimum 10 w.
- Tegangan pada rangkaian terbuka 21,7 v.
- Arus hubung singkat 0,56 A.



**Gambar 4.2** Panel surya

Gambar 4.2 merupakan penampakan dari panel surya. Dalam pengujian panel surya dilakukan pengukuran tegangan panel surya mulai pukul 8.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB dengan kondisi langit yang cerah. Hasil yang didapatkan seperti tampak pada tabel 4.1

**Tabel 4. 1** Hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya panel surya

<b>Pukul (WIB)</b>	<b>Tegangan (V)</b>	<b>Arus Hubung Singkat (mA)</b>	<b>Daya (mw)</b>
08.00	15,45	100	1545
09.00	17,93	160	2868,8
10.00	19,56	560	10953,6
11.00	20,93	460	9627,8
12.00	20,95	560	11732
13.00	20,95	510	10684,5
14.00	20,95	400	8380
15.00	18,63	320	5961,6
16.00	16,43	160	2628,8

Pada tabel 4.1 pengujian tegangan panel surya tampak bahwa tegangan hasil pengujian semuanya di atas 12 volt sehingga sudah dapat mengisi baterai tanpa perlu penaik tegangan. Namun, dalam mengisi baterai harus menggunakan regulator supaya tegangan untuk mengisi baterai stabil dan masih dalam batas tegangan maksimal yaitu 13,6-13,8 volt pada suhu 25 derajat celsius.

Pengukuran tegangan pada baterai yang dalam kondisi penuh mencapai nilai 12,41 volt. Tegangan baterai ini memiliki faktor kesalahan sebesar  $\frac{12,41-12}{12} \times 100\% = 3,41\%$ . Error dari tegangan baterai ini masih cukup kecil dan masih ditoleransi.

Tegangan 12 volt dari baterai ini nantinya akan digunakan oleh rangkaian *pre-amp* mikrofon kondensor yang membutuhkan catu daya sebesar 12 volt. Selain rangkaian *pre-amp* mikrofon kondensor, semua perangkat keras elektronik membutuhkan tegangan 5 volt. Oleh karena itu, tegangan 12 volt dari baterai harus diturunkan menjadi 9 volt dengan regulator 7809 kemudian diturunkan lagi menjadi 5 volt dengan regulator 7805. Penurunan tegangan secara bertahap ini bertujuan untuk mengurangi panas pada regulator. Regulator tegangan yang digunakan adalah dari tipe regulator linear sehingga selisih tegangan masukan dengan tegangan keluaran akan dibuang menjadi panas.

Pada pengukuran untuk catu daya 5 volt dihasilkan tegangan 4,98 volt. Faktor kesalahan sebesar  $\frac{5-4,98}{5} \times 100\% = 0,4\%$ . Kesalahan tegangan ini lebih banyak disebabkan oleh tingkat ketelitian dari voltmeter yang digunakan. Nilai keluaran tegangan 4,98 volt ini sangat bagus dan sangat mendekati 5 volt. STM32F4 sendiri membutuhkan tegangan sebesar 3,3 volt. Dalam *board* STM32F4 sudah terdapat regulator 3,3 volt. Hasil pengukuran tegangan keluaran regulator 3,3 volt sebesar 2,98 volt. Faktor kesalahan sebesar  $\frac{3,3-2,98}{3,3} \times 100\% = 9,7\%$ . Kesalahan tegangan yang cukup besar. Namun, STM32F4 masih tetap stabil dengan tegangan 2,98 volt dan tidak ada kesalahan logika pada STM32F4.

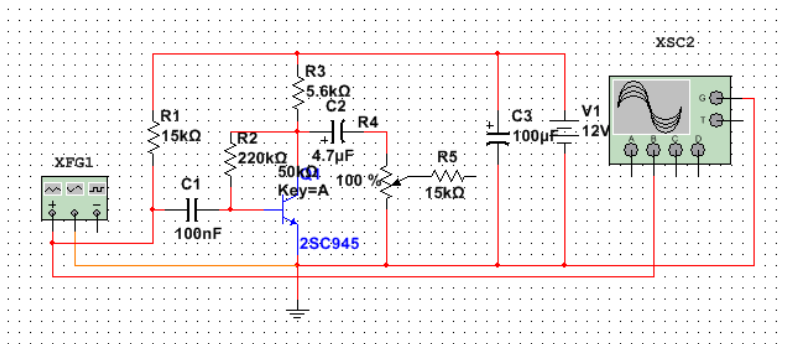
#### 4.1.2. Pengujian *Pre-amplifier* Mikrofon

Pada pengujian kali ini menggunakan mikrofon kondensor. Mikrofon kondensor memiliki kepekaan yang tinggi dan bentuknya kecil. Getaran suara yang masuk menggetarkan membran. Getaran membran ini mengakibatkan gerakan maju dan mundur lempengan penghantar pada kondensator. Dengan perubahan ini, nilai kondensator pun berubah seiring dengan perubahan getaran. Perubahan kapasitansi ini menyebabkan terjadinya getaran listrik.



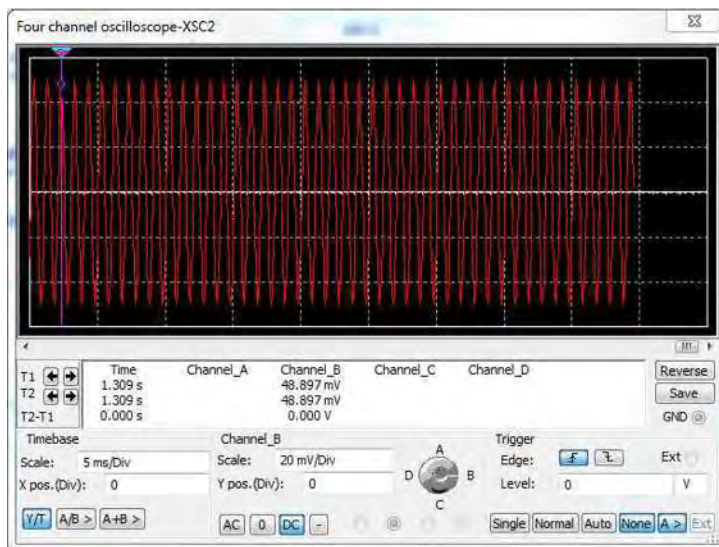
**Gambar 4.3** Mikrofon kondensor

Gambar 4.3 merupakan foto dari 1 mikrofon kondensor yang menerapkan prinsip kerja dari kondensator. Mikrofon kondensor tidak dapat berdiri sendiri dan harus membutuhkan *pre-amp* untuk menguatkan sinyal. *Pre-amp* merupakan penguat depan untuk menguatkan sinyal mikrofon yang masih sangat lemah supaya daya sinyal mikrofon tidak habis sebelum masuk penguat.

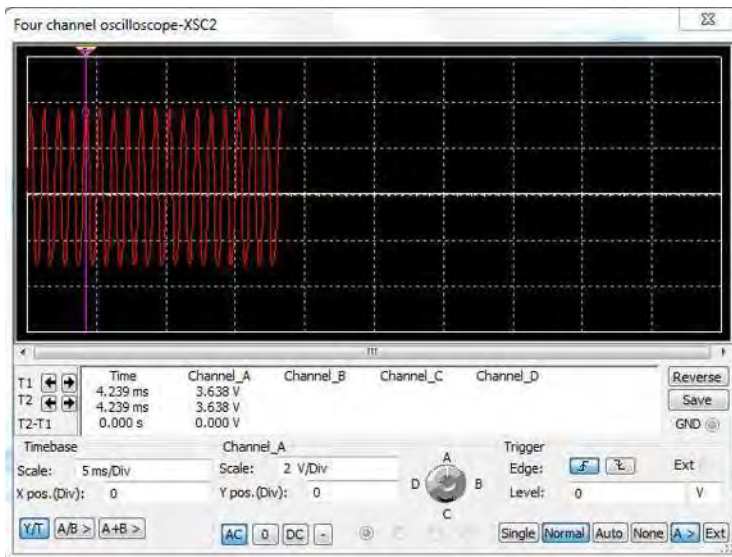


**Gambar 4.4** Skema rangkaian pre amp mikrofon kondensor

Pre amp pada gambar 4.4 membutuhkan tegangan sebesar 12 volt. Rangkaian *pre-amp* ini memiliki penguatan sebesar 73 kali.



**Gambar 4.5** Simulasi gelombang *input* pada rangkaian *pre-amp*



**Gambar 4.6** Simulasi gelombang *output* pada rangkaian *pre-amp*

#### 4.1.3. Pengujian Motor Servo

Motor servo merupakan aktuator berupa motor dc yang dilengkapi dengan *gear* dan kontrol di dalamnya. Motor servo ada dua jenis, yaitu servo 180 derajat dan servo 360 derajat. Pada sistem ini menggunakan servo 360 derajat. Pengontrolan gerak servo 360 derajat ini menggunakan sinyal PWM berperiode 20 ms. Servo 360 derajat tidak dapat menentukan sudut putaran. Putaran servo 360 derajat hanya dapat berputar searah jarum jam, berlawanan arah jarum jam, dan berhenti.

**Tabel 4.2** Lebar pulsa pengontrol putaran servo 360°

Lebar pulsa	Arah putaran	Keterangan
1300 us	Berlawanan arah jarum jam	Cepat
1450 us	Berlawanan arah jarum jam	Lambat
1500 us	Berhenti	Berhenti
1550 us	Searah jarum jam	Lambat
1700 us	Searah jarum jam	Cepat

Dari tabel 4.2 didapatkan bahwa semakin jauh selisih lebar pulsa dengan nilai 1500 us, maka semakin cepat perputaran motor servo. Semakin mendekati ke nilai 1500 us, semakin lambat putaran motor servo. Lebar pulsa di bawah 1500 us akan menyebabkan servo berputar berlawanan arah jarum jam. Lebar pulsa di atas 1500 us menyebabkan servo berputar searah jarum jam. Motor servo tepat berhenti pada lebar pulsa 1500 us.

## 4.2 Pengujian Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada sistem ini meliputi proses ADC, FFT, dan ANN.

### 4.2.1 Pengujian ADC

ADC STM32F4 memiliki 19 kanal. Port yang digunakan untuk ADC pada sistem ini adalah PA0 untuk mengubah sinyal analog dari mikrofon kanan menjadi digital. ADC untuk mikrofon kiri menggunakan port PA1. Tegangan referensi ADC STM32F4 adalah 3,3 volt sehingga tegangan masukan tidak boleh melebihi 3,3 volt. Untuk mencegah tegangan berlebih yang masuk ke ADC, pada keluaran pre amp diberi dioda zener 3,3 volt.

ADC melakukan sampling sinyal suara dengan frekuensi sampling 45 KHz. Untuk memenuhi persamaan *Nyquist* maka frekuensi suara maksimal yang diijinkan masuk ke ADC adalah 22,5 KHz.

Hasil pengujian data analog dengan ADC STM32F4 seperti pada tabel 4.3.

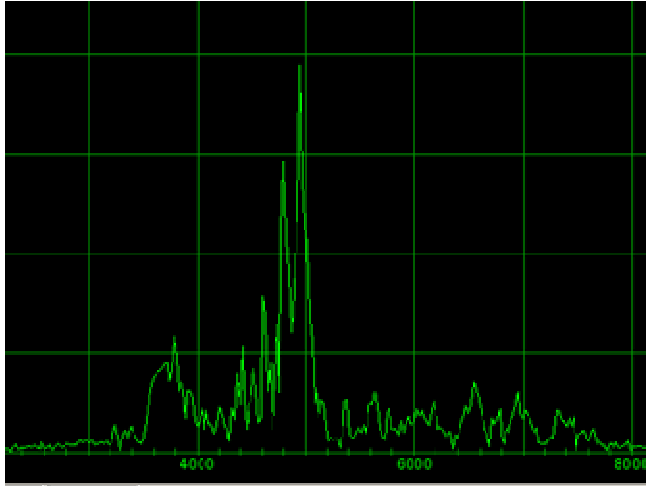
**Tabel 4.3** Tabel pengukuran sinyal analog menggunakan ADC STM32F4

Tegangan analog	Tegangan digital seharusnya	Tegangan digital hasil pengujian	Error
1 volt	1241	1240	1 bit
2 volt	2482	2480	2 bit
3 volt	3723	3721	2 bit



#### 4.2.2 Pengujian Fast Fourier Transformation (FFT)

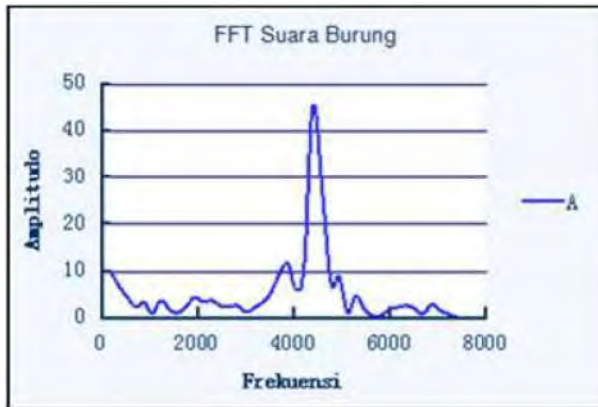
FFT pada sistem ini digunakan untuk mendapatkan domain frekuensi penyusun suara burung. Berdasarkan hasil FFT, suara burung memiliki spektrum frekuensi seperti pada gambar 4.7



**Gambar 4.7** Hasil pengujian FFT suara burung pipit menggunakan *software*

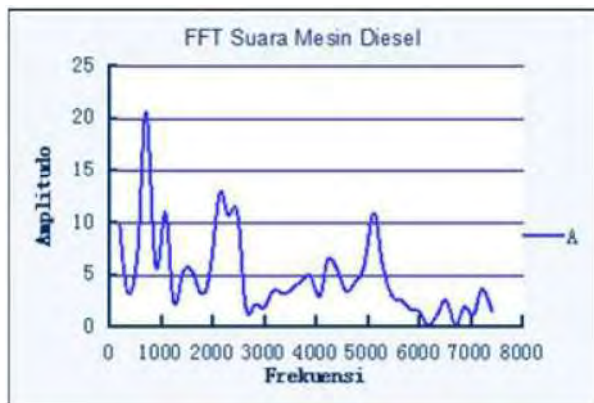
Tampak pada gambar 4.7 bahwa frekuensi suara burung berkisar 4 KHz-6 KHz. Frekuensi dominan suara burung ada pada 5 KHz. Alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung ini menggunakan FFT dengan mengambil sampel sebanyak 512. Dari sampel sebanyak 512 akan didapatkan domain frekuensi sebanyak 256. Frekuensi sampling yang digunakan sebesar 45 KHz sehingga resolusi frekuensi hasil FFT adalah sebesar  $\frac{45000}{256} = 177 \text{ Hz}$ . Hasil FFT disimpan pada larik sehingga pada larik Output[0] = frekuensi 0 Hz, Output[1] = frekuensi 177 Hz, Output[2] = 354, dan Output[255] = 45 KHz.

Hasil pengujian FFT suara burung pipit menggunakan program FFT di mikrokontroler STM32F4 didapatkan hasil yang hampir sama dengan hasil pengujian FFT menggunakan *software*.



**Gambar 4.8** Hasil pengujian FFT suara burung pipit menggunakan mikrokontroler STM32F4

Gambar 4.8 merupakan grafik FFT suara burung pipit menggunakan STM32F4. Frekuensi dominan suara burung pipit hasil pengujian dengan STM32F4 terletak pada area mendekati frekuensi 5 KHz. Oleh karena itu, frekuensi suara burung pipit yang diambil dan diolah harus menyertakan area frekuensi dominan ini karena merupakan ciri dari suara burung pipit.

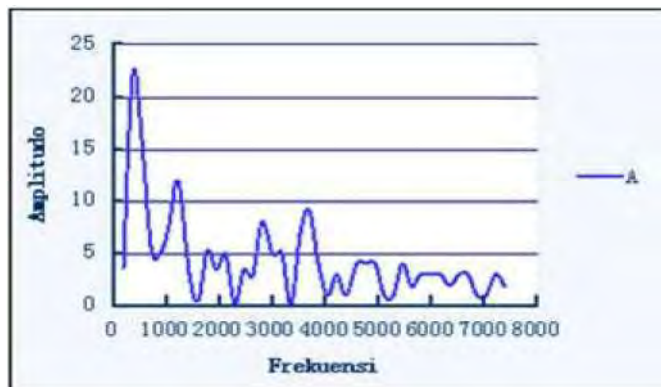


**Gambar 4.9** Hasil FFT Suara mesin diesel

Gambar 4.9 merupakan grafik dari hasil FFT suara mesin diesel. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan bahwa frekuensi dominan dari suara mesin diesel berada di bawah frekuensi 3KHz sehingga berada di luar dari area frekuensi dominan suara burung pipit. Pengujian FFT berikutnya adalah menguji hasil FFT suara-suara pengganggu yang berada di sawah selain suara mesin diesel, yaitu suara kincir pengusir hama burung, dan pengusir hama burung menggunakan teknologi elektrik.



**Gambar 4.10** Hasil FFT suara kincir pengusir burung pipit



**Gambar 4.11** Hasil FFT suara pengusir burung pipit elektrik

### 4.3 Pengujian Pendeteksian Sudut

Pengujian pendeteksian sudut ini meliputi hubungan tingkat kesalahan sudut terhadap jarak sumber bunyi ke sistem dan sudut datang sumber suara. Pengujian ini dilakukan dengan sudut datang suara yang bervariasi dan juga jarak sumber suara ke sistem. Pengujian dilakukan dengan suara burung sample dengan kekuatan suara sebesar 60-70 dB dan ambang batas ror sudut sebesar 30°.

#### 4.3.1. Jarak antarmikrofon 10 cm Jarak sumber suara ke sistem 10 cm

**Tabel 4.4** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 10 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Error Sudut (°)
0	Alat pelacak berputar terus	-
20	Alat pelacak berputar terus	-
40	Alat pelacak berputar terus	-
60	0	60
80	100	20
100	60	40
120	Alat pelacak berputar terus	-
140	Alat pelacak berputar terus	-
160	Alat pelacak berputar terus	-
180	Alat pelacak berputar terus	-

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa dengan jarak antarmikrofon yang dekat yaitu 10 cm, alat pelacak belum dapat menentukan sudut datang suara dengan baik. Hal ini disebabkan pelacakan arah suara

ini menggunakan teknik ILD yang membandingkan besarnya level amplitudo sinyal suara yang diterima oleh mikrofon kanan dan kiri. Jarak antarmikrofon yang dekat mengakibatkan perbedaan level amplitudo yang diterima oleh mikrofon kanan dan kiri berbeda tipis. Pengujian dilakukan dengan variasi sudut sebanyak 10 titik sudut. Dari 10 titik sudut yang diuji, hanya 3 titik sudut yang dapat dideteksi sudutnya oleh alat pelacak suara.

#### **Jarak sumber suara ke sistem 30 cm**

Pengujian berikutnya adalah menggunakan jarak antarmikrofon 10 cm dan jarak sumber suara ke sistem sejauh 30 cm.

**Tabel 4.5** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 30 cm

<b>Sudut yang Diinginkan (°)</b>	<b>Sudut yang Terukur (°)</b>	<b>Error Sudut (°)</b>
0	60	60
20	Alat pelacak berputar terus	-
40	Alat pelacak berputar terus	-
60	Alat pelacak berputar terus	-
80	Alat pelacak berputar terus	-
100	Alat pelacak berputar terus	-
120	Alat pelacak berputar terus	-
140	Alat pelacak berputar terus	-
160	Alat pelacak berputar terus	-
180	Alat pelacak berputar terus	-

Pada pengujian dengan jarak sumber suara sejauh 30 cm dan jarak antarmikrofon 10 cm, alat pelacak masih belum dapat mendeteksi sudut datang suara dengan baik.

#### Jarak sumber suara ke sistem 60 cm

**Tabel 4.6** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 60 cm

Sudut yang Diinginkan (°)	Sudut yang Terukur (°)	Error Sudut (°)
0	Alat pelacak berputar terus	-
20	30	10
40	0	40
60	22	38
80	70	10
100	Alat pelacak berputar terus	-
120	Alat pelacak berputar terus	-
140	Alat pelacak berputar terus	-
160	Alat pelacak berputar terus	-
180	Alat pelacak berputar terus	-

Jarak sumber suara ke sistem sejauh 60 cm, alat pelacak belum dapat mendeteksi sudut datang suara dengan baik. Namun, alat pelacak dapat mendeteksi sudut datang suara sedikit di atas ambang batas eror sudut. Semakin jauh sumber suara ke sistem menyebabkan suara lebih banyak teredam sehingga level amplitudo sinyal suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Dengan jarak antarmikrofon yang dekat membuat tingkat perbedaan level amplitudo yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri hanya sedikit di atas *hysteresis* perbedaan level amplitudo pada mikrofon kanan dan kiri. *Hysteresis*

perbedaan level amplitudo pada mikrofon kanan dan kiri adalah sebesar 10.

#### **Jarak sumber suara ke sistem 100 cm**

Pengujian berikutnya adalah menguji eror sudut terhadap pengaruh jarak sumber suara sejauh 100 cm dengan jarak antarmikrofon tetap sebesar 10 cm.

**Tabel 4.7** Pengujian hubungan jarak antarmikrofon 10 cm, eror sudut, sudut datang, dan jarak sumber suara 100 cm

<b>Sudut yang Diinginkan (°)</b>	<b>Sudut yang Terukur (°)</b>	<b>Error Sudut (°)</b>
0	180	180
20	70	50
40	115	75
60	110	50
80	120	40
100	15	85
120	60	60
140	30	110
160	140	20
180	60	120

Pengujian jarak sumber suara sejauh 100 cm dari sistem menghasilkan data bahwa alat pelacak dapat mendeteksi semua variasi sudut datang yang diujikan. Jarak 100 cm ini cukup memberikan redaman pada suara burung sehingga lebih memberikan perbedaan level amplitudo sinyal suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri. Namun, akibat dari jarak antarmikrofon yang dekat membuat sudut yang dideteksi memiliki eror yang besar. Berdasarkan tabel 4.7 menunjukkan bahwa alat pelacak belum dapat menentukan apakah sumber suara berada di kanan atau di kiri sistem. Sudut yang dideteksi justru sudut yang bertolak belakang dari sudut sumber suara. Sudut datang suara 160° memiliki hasil sudut yang mendekati sudut datang sumber suara. Eror sudut datang suara 160° ini masih di bawah ambang batas eror sudut. Sudut yang terdeteksi oleh alat pelacak suara adalah sebesar 20° yang mana masih di bawah ambang batas eror sudut 30°.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada penelitian ini telah dibuat dan dirancang suatu alat pelacak suara pada sistem pengusir hama burung. Pada pengujian FFT didapatkan bahwa frekuensi dominan suara burung pipit berada pada kisaran 4-6KHz. Pengujian sudut datang suara hama burung dengan menggunakan jarak antarmikrofon sejauh 10cm dan 15cm mengakibatkan alat pelacak suara hama burung tidak dapat mendeteksi sudut dengan baik. Hal ini disebabkan oleh alat pelacak suara hama burung mengalami kesulitan mendeteksi sudut datang suara burung karena perbedaan level amplitudo sinyal suara yang ditangkap oleh mikrofon kanan dan kiri kurang signifikan. Hasil pengujian sudut menggunakan jarak antarmikrofon *stereo* mendapatkan hasil yang baik pada jarak 21cm. Sumber suara hama burung berjarak 10cm mendapatkan hasil eror rata-rata sudut sebesar  $19,2^{\circ}$ , sumber suara hama burung berjarak 30cm mendapatkan hasil eror rata-rata sudut sebesar  $26,3^{\circ}$ , sumber suara hama burung berjarak 60cm mendapatkan hasil eror rata-rata sudut sebesar  $24,2^{\circ}$ . *Prototype* alat pelacak suara hama burung ini dapat mendeteksi suara hama burung dengan baik pada jarak maksimal 100cm yang memiliki eror sudut rata-rata sebesar  $39,3^{\circ}$ . Jarak di atas 100cm masih dapat dideteksi oleh alat pelacak suara burung, tetapi eror sudutnya melebihi ambang batas eror sudut.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat penulis berikan untuk pengembangan tugas akhir adalah dalam penentuan sudut arah sumber suara sebaiknya memadukan teknik *Interaural Level Difference*(ILD) dengan *Interaural Time Difference*(ITD). Hal ini untuk saling melengkapi perbaikan tingkat eror dari kedua teknik tersebut.



***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Andre Prayoga. "PENINGKATAN DAYA SAING BERAS LOKAL MENJELANG AFTA 2015," < [https://www.academia.edu/9385755/PENINGKATAN\\_DAYA\\_SAING\\_BERAS\\_LOKAL\\_MENGHADAPI\\_AFTA\\_2015](https://www.academia.edu/9385755/PENINGKATAN_DAYA_SAING_BERAS_LOKAL_MENGHADAPI_AFTA_2015)>. Februari, 2014.
- [2] Takanobu Nishiura, Takeshi Yamada, Satoshi Nakamura, Kiyohiro Shikano, "*Localization of Multiple Sound Sources Based on a Csp Analysis With a Microphone Array*," IEEE 2000
- [3] Muhammad Afridon, Stephan, "Penerapan Metode *Interaural Time Difference* Untuk Menentukan Posisi Sumber Suara," Prosiding Seminar Nasional Indutri dan Teknologi, 26 Desember 2012 hlmm 1-5
- [4] Tu Weiping, Hu Ruimin, Wang Heng, Chen Wenqin, "*Measurement and Analysis of Just Noticeable Difference of Interaural Level Difference Cue*," IEEE 2010
- [5] Tilzor. "Library 06- AD Converter on STM32F4," <URL: <http://stm32f4-discovery.com/2014/04/library-06-ad-converter-on-stm32f4xx/>>, April 2014
- [6] Tilzor. "STM32F4 PWM tutorial with TIMERs," <URL: <http://stm32f4-discovery.com/2014/05/stm32f4-stm32f429-discovery-pwm-tutorial/>> Mei 2014
- [7] Tilzor. "DAC Signal generator for STM32F4," <URL: <http://stm32f4-discovery.com/2014/09/library-36-dac-signal-generator-stm32f4/>> September 2014
- [8] Takehiro Sugimoto, Masakazu Iwaki, Kazuho Ono, Akio Ando, "*A Narrow-Angle Directional Microphone With Suppressed Rear Sensitivity*," IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, VOL. 56, NO. 1, MARCH 2010

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### Program utama

```
#include "stm32f4xx.h"
#include "defines.h"
#include "tm_stm32f4_delay.h"
#include "tm_stm32f4_adc.h"
#include "tm_stm32f4_disco.h"
#include "tm_stm32f4_dac_signal.h"
#include "tm_stm32f4_servo.h"
//#include "tm_stm32f4_dac.h"

#include <stdio.h>
#include "arm_math.h"

/* FFT settings */
#define SAMPLES 512
/* 256 real party and 256
imaginary parts */
#define FFT_SIZE SAMPLES /
2 /* FFT size is always the same size
as we have samples, so 256 in our case */
#define eror_posisi 10

/* Global variables */
float32_t InputKanan[SAMPLES];
float32_t InputKiri[SAMPLES];
float32_t OutputKanan[FFT_SIZE];
float32_t OutputKiri[FFT_SIZE];
int treshold[FFT_SIZE];
int array, loop;
int keluaran0, keluaran1;

void putar_kanan(void);
void putar_kiri(void);
void stop(void);
void suara(void);
```

```

void JST(float in1,float in2,float in3,float
in4,float in5,float in6,float in7,float
in8,float in9,float in10,float in11,float
in12,float in13,float in14,float in15,float
in16,float in17,float in18,float in19,float
in20,float in21,float in22,float in23,float
in24,float in25);

int main(void) {
    arm_cfft_radix4_instance_f32 S;
    float32_t maxValue;
    uint32_t maxIndex;
    uint16_t i;

    /* Initialize system */
    SystemInit();

    /* Delay init */
    TM_DELAY_Init();

    /* Initialize Servo on board */
    TM_DISCO_LedInit();

    TM_DAC_SIGNAL_Init(TM_DAC1, TIM4);

    /* Initialize ADC, PA0 is used */
    /* Initialize ADC, PA1 is used */
    TM_ADC_Init(ADC1, ADC_Channel_0);
    TM_ADC_Init(ADC1, ADC_Channel_1);

    while (1) {
        for (i = 0; i < SAMPLES; i += 2) {
            Delay(21);

            /* Real part, must be between -1 and 1 */
            InputKanan[(uint16_t)i] =
            (float32_t)((float32_t)TM_ADC_Read(ADC1,

```

```

ADC_Channel_0)      -      (float32_t)2048.0)      /
(float32_t)2048.0;
        InputKiri[(uint16_t)i]      =
(float32_t)((float32_t)TM_ADC_Read(ADC1,
ADC_Channel_1)      -      (float32_t)2048.0)      /
(float32_t)2048.0;
        /* Imaginary part */
        InputKanan[(uint16_t)(i + 1)]
= 0;
        InputKiri[(uint16_t)(i + 1)] =
0;
    }

    arm_cfft_radix4_init_f32(&S,
FFT_SIZE, 0, 1);

    arm_cfft_radix4_f32(&S, InputKanan);
    arm_cfft_radix4_f32(&S, InputKiri);

    /* Process the data through the
Complex Magnitude Module for calculating the
magnitude at each bin */
    arm_cmplx_mag_f32(InputKanan,
OutputKanan, FFT_SIZE);
    arm_cmplx_mag_f32(InputKiri,
OutputKiri, FFT_SIZE);

    /* Calculates maxValue and returns
corresponding value */
    arm_max_f32(OutputKanan,    FFT_SIZE,
&maxValue, &maxIndex);
    arm_max_f32(OutputKiri,    FFT_SIZE,
&maxValue, &maxIndex);

//Frekuensi yang diambil 1757,8125 - 5976,5625
JST(OutputKanan[10],OutputKanan[11],OutputKanan[12],OutputKanan[13],OutputKanan[14],OutputKanan[15],OutputKanan[16],OutputKanan[17],Output

```

```

Kanan[18],OutputKanan[19],OutputKanan[20],OutputKanan[21],OutputKanan[22],OutputKanan[23],OutputKanan[24],OutputKanan[25],OutputKanan[26],OutputKanan[27],OutputKanan[28],OutputKanan[29],OutputKanan[30],OutputKanan[31],OutputKanan[32],OutputKanan[33],OutputKanan[34]);
    if((keluaran0 == 1) && (keluaran1 ==0)){
        //Jika burung, eksekusi di bawah ini
        for(loop=10;loop<35;loop++){
            OutputKanan[9] = 0;
            OutputKiri[9] = 0;

            OutputKanan[loop] =
OutputKanan[loop] + OutputKanan[loop - 1];
            OutputKiri[loop] =
OutputKiri[loop] + OutputKiri[loop - 1];
        }

        if((OutputKanan[34]-
OutputKiri[34])>error_posisi){
            putar_kanan();
        }
        else
        if((OutputKanan[34]-
OutputKiri[34])<=error_posisi &&
(OutputKanan[34]>OutputKiri[34])){
            stop();
            suara();
        }
        else
        if((OutputKiri[34]-
OutputKanan[34])>error_posisi){
            putar_kiri();
        }
        else
        if((OutputKiri[34]-
OutputKanan[34])<=error_posisi &&
(OutputKiri[34]>OutputKanan[34])){

```

```

stop();
suara();
    }
}

}

void putar_kanan(void){
    int putar;
    for(putar=0;putar<10;putar++){
        TM_DISCO_LedOn(SERVO);
        Delay(1600);
        TM_DISCO_LedOff(SERVO);
        Delay(20000-1600);
    }
}

void putar_kiri(void){
    int putar;
    for(putar=0;putar<10;putar++){
        TM_DISCO_LedOn(SERVO);
        Delay(1400);
        TM_DISCO_LedOff(SERVO);
        Delay(20000-1400);
    }
}

void stop(void){
    int putar;
    for(putar=0;putar<10;putar++){
        TM_DISCO_LedOn(SERVO);
        Delay(1500);
        TM_DISCO_LedOff(SERVO);
        Delay(20000-1500);
    }
}

void suara(void){

```



```

        DAC_Cmd(DAC_Channel_1, ENABLE);
        TM_DAC_SIGNAL_SetSignal(TM_DAC1,
TM_DAC_SIGNAL_Signal_Square, 10000);
        Delayms(5000);
        DAC_Cmd(DAC_Channel_1, DISABLE);
    }

void JST(float in1,float in2,float in3,float
in4,float in5,float in6,float in7,float
in8,float in9,float in10,float in11,float
in12,float in13,float in14,float in15,float
in16,float in17,float in18,float in19,float
in20,float in21,float in22,float in23,float
in24,float in25)
{
//Suara burung jika keluaran[0] =1 dan
keluaran[1]=0
#define e_ann          0.01
#define alfa           0.7

//Deklarasi input frekuensi ANN f1-f25
float node1[10], node2[6], node3[2],
out1[10],out2[6], out3[2];
float f[25];
int i,j;

float w1[10][25] = { {2.0000008777182790E-
0001,2.0000000042887762E-
0001,3.5000003481264091E-
0001,7.0950094840934659E-
0008,4.0000015456606873E-
0001,1.5000005248386630E-
0001,4.5000000211573219E-
0001,5.3879759501995191E-
0009,4.0000000312546670E-
0001,1.0000000024172446E-
0001,1.2500330628363270E-
0007,3.5000000038570623E-

```

0001,1.5000003346812524E-  
 0001,4.5000013550669224E-  
 0001,3.5000035104331400E-  
 0001,3.5000008859878289E-  
 0001,5.0000003376501383E-  
 0002,1.5000000409089061E-  
 0001,2.5000000268706601E-  
 0001,2.0000000018381048E-  
 0001,1.8206979392350327E-  
 0007,1.5000000113104581E-  
 0001,5.0000063826691436E-  
 0002,5.0000095620004028E-  
 0002,1.6891890140807573E-0007},

{5.0000088182504195E-  
 0002,3.5000000201979686E-  
 0001,2.0000000270608516E-  
 0001,1.0000000610434501E-  
 0001,4.0000000008899623E-  
 0001,1.5000016868815942E-  
 0001,4.5000000090153133E-  
 0001,4.5000005449954081E-0001,  
 3.0000011436205277E-0001,3.5000024428922594E-  
 0001,2.5000009223951944E-  
 0001,2.5590076850002082E-  
 0009,3.5000000298312944E-  
 0001,5.0000005026296978E-  
 0002,2.5000000011125898E-  
 0001,3.0000013439174659E-  
 0001,6.7480077771033096E-  
 0010,2.5000004368608097E-  
 0001,3.0000009969018186E-  
 0001,1.0000022137062974E-  
 0001,4.5000007711541690E-  
 0001,4.5000000236929144E-  
 0001,1.0000000330569257E-  
 0001,3.0000000396325536E-  
 0001,3.0000000013457945E-0001},

{2.5000007739890689E-  
 0001,4.0000000018182310E-  
 0001,2.5000001992164465E-  
 0001,3.5000009447503075E-  
 0001,3.5000025185291450E-  
 0001,4.5000005940689538E-  
 0001,1.5000000243507605E-  
 0001,2.5000000319989970E-  
 0001,1.5000000150806639E-  
 0001,1.0000000014788038E-  
 0001,1.0000017672824026E-  
 0001,1.0000000111089961E-  
 0001,5.0000065794681011E-  
 0002,1.0000009248314175E-  
 0001,4.5000015780007520E-  
 0001,2.5000008438558544E-  
 0001,3.5000000216543729E-  
 0001,2.0000000423435798E-  
 0001,2.0000000628364800E-  
 0001,4.5000000016214940E-  
 0001,1.0000020282172098E-  
 0001,3.0000000095141008E-  
 0001,1.0000006106333749E-  
 0001,1.6064636677680943E-  
 0007,3.7310542952581065E-0007},

{1.1846719188259371E-  
 0007,2.0000000368273131E-  
 0001,2.0000000391367704E-  
 0001,1.5000000545101503E-  
 0001,4.0000000015479029E-  
 0001,3.0000005361672980E-  
 0001,4.5000000024424541E-  
 0001,1.5000001768298309E-  
 0001,3.0000004472310861E-  
 0001,5.0000103688358761E-  
 0002,2.5000003272452897E-

0001,1.1409104022602147E-  
 0009,4.0000000188827088E-  
 0001,1.5635846594696965E-  
 0009,3.5000000008191512E-  
 0001,3.0000009452427802E-  
 0001,2.0000000044166869E-  
 0001,2.0000002683996699E-  
 0001,3.0000007419056529E-  
 0001,2.5000017401512382E-  
 0001,3.0000005566107966E-  
 0001,4.0000000159622764E-  
 0001,3.5000000103543030E-  
 0001,4.5000000238750598E-  
 0001,2.0000000003516999E-0001},

{1.0000010999177088E-  
 0001,2.0000000053175886E-  
 0001,3.0000003341721711E-  
 0001,4.5000008405526738E-  
 0001,1.0000019240363469E-  
 0001,5.0000063318124718E-  
 0002,1.8988191703541524E-  
 0009,1.0000000192953670E-  
 0001,3.5000000299792947E-  
 0001,4.0000000007456648E-  
 0001,1.5000007620867718E-  
 0001,4.5000000024760654E-  
 0001,1.5000002318840581E-  
 0001,3.0000008162976543E-  
 0001,2.5000020738170104E-  
 0001,1.5000005413884601E-  
 0001,4.0000000217047912E-  
 0001,2.5000000351267325E-  
 0001,3.0000000188722054E-  
 0001,1.6070490686591629E-  
 0010,4.0000023026085644E-  
 0001,1.5000000060193809E-  
 0001,1.0000005238601761E-

0001,2.0000026533646124E-  
0001,3.5000070915444552E-0001},

{4.0000017041250758E-  
0001,5.0000006266259456E-  
0002,3.0000000499615262E-  
0001,4.5000000395044465E-  
0001,2.0000000022351576E-  
0001,3.0000015954520263E-  
0001,2.0000000092651605E-  
0001,1.0000006056490435E-  
0001,3.5000009900306701E-  
0001,4.5000018964119742E-  
0001,1.0000008587079475E-  
0001,3.5000000258351342E-  
0001,4.0000000575570951E-  
0001,1.0000000566128141E-  
0001,1.5000000024154498E-  
0001,1.0000036466774475E-  
0001,4.5000000038688897E-  
0001,2.5000005539700168E-  
0001,2.0000051460384545E-  
0001,1.4584626456073241E-  
0006,3.5000030869653738E-  
0001,1.0000001186412303E-  
0001,5.0000005291288106E-  
0002,2.0000000299966669E-  
0001,2.0000000299966669E-0001},

{1.5000065608801467E-  
0001,3.0000000035848411E-  
0001,2.0000007356081602E-  
0001,1.0000097629999991E-  
0001,1.0000281940604328E-  
0001,5.0000574629428030E-  
0002,2.5000002174077629E-  
0001,4.0000000322319135E-  
0001,4.0000000257592407E-

0001,3.5000000016911996E-  
 0001,5.0000327322010294E-  
 0002,3.0000000052118249E-  
 0001,2.5000005298965506E-  
 0001,1.0000043005145261E-  
 0001,5.0001203710461734E-  
 0002,5.0000267032770599E-  
 0002,3.5000000965893881E-  
 0001,3.5000000311638995E-  
 0001,1.5000000324729146E-  
 0001,2.0000000014118256E-  
 0001,2.5000013730350728E-  
 0001,4.0000000030035227E-  
 0001,5.0000026883542951E-  
 0002,1.0000016724948085E-  
 0001,5.0000456749242865E-0002},

{5.0000109466483299E-  
 0002,2.0000000382134989E-  
 0001,5.0000001997527516E-  
 0002,1.5000000189578817E-  
 0001,3.5000000008868420E-  
 0001,4.5000009281436879E-  
 0001,2.4861273305195402E-  
 0010,3.5000002278212977E-  
 0001,3.5000010685931910E-  
 0001,3.5000028280837665E-  
 0001,7.2354577378512244E-  
 0008,4.5000000261317327E-  
 0001,1.0000000272246509E-  
 0001,1.7592868835823089E-  
 0009,3.5000000012309925E-  
 0001,2.5000011232796836E-  
 0001,3.5000000035922383E-  
 0001,2.5000002916888224E-  
 00018,1.1891871783142902E-  
 0007,4.5000030730233403E-  
 0001,1.0000008098605565E-

0001,1.0000000287497981E-  
0001,1.0000000301683402E-  
0001,1.0000000236019524E-0001,  
3.0000000013310883E-0001},

{5.0000052727099701E-  
0002,2.7112284801129647E-  
0010,1.7869015977739615E-  
0008,2.5000003831143164E-  
0001,4.5000008310312794E-  
0001,3.2207190591421195E-  
0008,3.0000000093823360E-  
0001,4.0000000152398702E-  
0001,3.5000000163207413E-  
0001,4.5000000006324604E-  
0001,1.0000005966608402E-  
0001,3.5000000031511363E-  
0001,2.5000001948012513E-  
0001,5.0000041322042516E-  
0002,8.8771790415148805E-  
0008,2.5000003394273344E-  
0001,2.0000000094745249E-  
0001,2.5000000122290792E-  
0001,4.5000000179214197E-  
0001,3.5000000004741723E-  
0001,4.0000003036452411E-  
00011,3.0000000011201449E-  
0001,1.5000000964497538E-  
0001,1.0000003022935965E-  
0001,4.5000007470426240E-0001},

{2.0000002058514163E-  
0001,1.0000000080569783E-  
0001,4.0000000137878320E-  
0001,4.5000000081386853E-  
0001,2.0000000006217653E-  
0001,4.5000003736952280E-  
0001,3.5000000010633447E-

```

0001,3.5000000825575901E-
0001,2.0000004123931835E-
0001,3.0000010967749950E-
0001,3.5000002654934216E-
0001,4.0000000093721094E-
0001,2.0000000053944203E-
0001,1.0000000063287535E-
0001,4.000000002298411E-
0001,4.0000003831270008E-
0001,5.0000000131784552E-
0002,3.0000000948494779E-
0001,3.5000003844976051E-
0001,9.8875871917281255E-
0008,4.5000002621175465E-
0001,1.5000000087761542E-
0001,4.0000000062975292E-
0001,5.0000000775461064E-
0002,3.5000000002615057E-0001},
};

```

```

float w2[6][10] = { {4.9577401461066687E-
0001,4.9322669767218636E-
0001,2.2482199673998016E-
0001,3.6908087765220124E-
0001,2.5949424836057228E-
0001,7.3713048711406453E-
0002,3.4577405595253594E-
0001,1.4322673571428684E-
0001,1.7482199982167758E-
0001,2.1908088090804271E-0001},

```

```

{1.0949429974006933E-
0001,2.7371312190118958E-
0001,4.4577404473696686E-
0001,1.4322672525254267E-
0001,7.4821995892577156E-
0002,2.1908087773603789E-
0001,3.0949428534113654E-

```



0001,1.2371310306351197E-  
0001,1.4577401931698435E-  
0001,4.9322670220555635E-0001},

{2.4822002020758708E-  
0002,2.1908088173369253E-  
0001,4.5949425504820015E-  
0001,3.2371305547233447E-  
0001,4.9577395771700862E-  
0001,1.9322664611240500E-  
0001,4.7482201143039424E-  
0001,3.6908088738128262E-  
0001,5.0949418080670088E-  
0001,2.7371294192414115E-0001},

{3.9577401407162530E-  
0001,1.9322669730066417E-  
0001,1.7482199981998017E-  
0001,1.6908087996906010E-  
0001,5.9494248238821083E-  
0002,2.2371304677129127E-  
0001,2.4577405474377591E-  
0001,3.9322673460998209E-  
0001,1.2482199994005697E-  
0001,4.6908088097143183E-0001},

{1.0949429827605776E-  
0001,2.2371311969617635E-  
0001,4.5774055246617840E-  
0002,4.9322673504334020E-  
0001,3.7482199938475670E-  
0001,1.9080880578675292E-  
0002,5.9494298823251963E-  
0002,3.2371312078658442E-  
0001,3.9577405507620379E-  
0001,1.9322673489183313E-0001},

{7.4821999400712103E-

```

0002,4.1908088057535036E-
0001,5.9494298597178481E-
0002,1.7371312046637990E-
0001,4.5774056067550490E-
0002,3.4322673582165755E-
0001,3.2482199987221091E-
0001,4.1908088094920983E-
0001,1.5949429989102390E-
0001,2.7371312209186510E-0001},

```

```

};

```

```

float    w3[2][6]    =    { {-7.4090910590609070E-
0001,8.5472129307538773E-0001,-
6.9407168766612591E-0001,9.0630547812177543E-
0001,-4.4046939854425605E-
0001,6.0097490978260665E-0001},

```

```

        {-5.8882553927319037E-
0001,5.0281958031266643E-0001,-
7.2317052112138223E-0001,5.4349290629041813E-
0001,-7.8923911520367906E-
0001,7.0256244892976463E-0001},

```

```

};

```

```

f[0] = in1; f[1] = in2; f[2] = in3; f[3] =
in4; f[4] = in5;
f[5] = in6; f[6] = in7; f[7] = in8; f[8] =
in9; f[9] = in10;
f[10] = in11; f[11] = in12; f[12] = in13;
f[13] = in14; f[14] = in15;
f[15] = in16; f[16] = in17; f[17] = in18;
f[18] = in19; f[19] = in20;
f[20] = in21; f[21] = in22; f[22] = in23;
f[23] = in24; f[24] = in25;

```

```

//Forward

//jumlah pada masing-masing node layer 1
for (i=0;i<10;i++)
{
    node1[i]= 0;
    for (j=0;j<25;j++)
    {
        node1[i]= node1[i]+(w1[i][j]*f[j]);
    }
    out1[i]= 1/(1+exp(-1*alfa*node1[i]));
//fungsi aktivasi masing2 node layer 1
}

//jumlah pada masing-masing node layer 2
for (i=0;i<6;i++)
{
    node2[i]= 0;
    for (j=0;j<10;j++)
    {
        node2[i]= node2[i]+(w2[i][j]*out1[j]);
    }
    out2[i] = 1/(1+exp(-1*alfa*node2[i]));
//fungsi aktivasi masing2 node layer 2
}

//jumlah pada masing-masing node layer 3
for (i=0;i<2;i++)
{
    node3[i]= 0;
    for (j=0;j<6;j++)
    {
        node3[i]= node3[i]+(w3[i][j]*out2[j]);
    }
    out3[i] = 1/(1+exp(-1*alfa*node3[i]));
//fungsi aktivasi masing2 node layer 3
}

```

```

if      (((1-out3[0])<e_ann)    ||      ((out3[1]-
1)<e_ann)){
    keluaran0 = 1;
}
else{
    keluaran0 = 0;
}

if      (((1-out3[1])<e_ann)    ||      ((out3[1]-
1)<e_ann)){
    keluaran1 = 1;
}
else{
    keluaran1 = 0;
}
}

```

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



**Nor Ain Firdaus**, lahir di Gresik 06 Desember 1992. Penulis memulai jenjang pendidikan di RA Muslimat NU 151 Manarotul Ulum Kalirejo, kemudian melanjutkan ke jenjang MI Ihyaul Ulum Dukun dan sekaligus MTs Ihyaul Ulum Dukun. Pada tahun 2008, penulis kemudian melanjutkan ke SMAN 1 Sidayu. Penulis sudah menggeluti dunia elektronika sejak kecil, 9 tahun. Hobi ini penulis salurkan ke bangku kuliah dengan mengambil bidang studi Elektronika di jurusan Teknik Elektro

ITS pada tahun 2011. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email: [ain.firdaus11@gmail.com](mailto:ain.firdaus11@gmail.com)